

S Z A K D O L G O Z A T

Fokozott urbanizációs hatások vizsgálata mézminták elemösszetételén keresztül

Szabó Vivien

Kémia BSc.

III. évfolyam

Témavezetők: Dr. Baranyai Edina, egyetemi adjunktus

Dr. Sajtos Zsófi, egyetemi adjunktus



Debreceni Egyetem,

TTK Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék

Debrecen

2024

Tartalom

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Bevezetés és célkitűzés | 1 |
| 2 | Irodalmi áttekintés..... | 3 |
| 2.1 | Méhek | 3 |
| 2.2 | Méz | 4 |
| 2.3 | A méz összetevői | 5 |
| 2.4 | Mézek elemösszetétele | 6 |
| 2.5 | Kutatási előzmények..... | 8 |
| 2.6 | Technológiailag kritikus elemek..... | 10 |
| 2.7 | Atomspektrometria | 11 |
| 2.7.1 | ICP-OES | 13 |
| 3 | Anyag és módszer | 15 |
| 3.1 | Mintagyűjtés | 15 |
| 3.2 | Minták előkészítése..... | 16 |
| 3.3 | Elemanalízis..... | 17 |
| 3.4 | Statisztikai analízis | 20 |
| 4 | Eredmények és értékelésük | 21 |
| 4.1 | Mézek botanikai eredet szerinti vizsgálata | 21 |
| 4.2 | Az urbanizációs hatások elemzése..... | 27 |
| 5 | Összefoglalás..... | 31 |
| 6 | Summary | 32 |
| 7 | Köszönetnyilvánítás | 33 |
| 8 | Irodalomjegyzék..... | 34 |
| 9 | Függelék..... | 37 |

1 Bevezetés és célkitűzés

A méhészeti termékek már ősidők óta nagy jelentőséggel rendelkeznek az emberek életében. A vadászó- és gyűjtögető életmódot folytató elődeink számára is egyszerűen hozzáférhető volt a méz és a viasz. A méz táplálékként szolgált, míg a viasz könnyen formálható és vizet át nem eresztő tulajdonsága miatt vált használati cikké. Kutatások során egyes mérsékelt égövi és mediterrán területeken korai méhészkedés nyomait találták, olyan helyeken, ahol a földrajzi adottságok is megfelelőek lehettek. Az egyiptomiak nem csak élvezeti cikként, hanem gyógyászati okokból is fogyasztották a mézet, a viaszt pedig hajók bevonására és szobrok készítésére használták fel. [1]

A méz gazdag ásványi anyagokban (cink, magnézium, fluor, mangán, foszfor, nátrium, jód, réz, kalcium, vas, kálium, kén, klór), vitamin forrás (B₁, B₂, B₆, biotin, C, folacin, niacin, pantoténsav), emellett sok értékes enzimet is tartalmaz, ezáltal a méz fontos alkotórésze lehet az egészséges táplálkozásnak. [2]

A méhek egy nap alatt átlagosan 1000 virágot is felkereshetnek. A tavaszi-nyári időszakban, egy méhcsaládban 10 000-50 000 gyűjtögető méh is jelen lehet, az egy nap alatt megtermelt méz megközelítőleg 10 millió interakció eredményének köszönhető. A gyűjtés közben a méhek mintegy 7 km²-es területet is bejárhatnak, a beporzási területen, vagy a kaptárba való repülés közben különböző anyagokkal kerülhetnek érintkezésbe. A légkörön keresztül szállított aeroszolrészecskékben, a talajban, a növényzetben és a vízben is lehetnek potenciális szennyező anyagok, melyekért leginkább az antropogén tevékenységek a felelősek. Ilyen lehet az ipari létesítmények és gyárak kibocsátása, a közlekedés, valamint a toxikus elemeket szintén tartalmazható rossz minőségű szerves/szervetlen műtrágyák, növényvédő és rovarirtó szerek. A frissen gyűjtött virágporban, nektárban, a mézben és a méhviaszban is kimutatható egyes a szennyezőanyagok felhalmozódása. [3][4]

A különböző antropogén forrásokból származó elemek kibocsátása a környezetbe közvetlenül szennyezheti az élő szervezeteket, így a méhekre is veszélyt jelenthet. Az elmúlt évtizedekben a nehézfémekhez kapcsolódó környezetszennyezések az ökoszisztémák és az emberi egészség szempontjából kiemelt fontosságú témává váltak. Némely nehézfémek már nyomokban is mérgezők lehetnek az élő szervezetek számára, ilyen például a kadmium és az ólom, míg mások pedig kis mennyiségben nélkülözhetetlenek, ilyen a nikkel, a réz, a cink és a króm (ezek hiánya vagy túlsúlya betegségek kialakulását okozhatja). [3]

A Környezetanalitikai Kutatócsoport különböző biotikus és abiotikus indikátorok alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatával foglalkozik, természetes és antropogén eredetű szervetlen szennyezők minőségi és mennyiségi viszonyainak feltérképezésének céljából. 2016

óta folytatnak mézzel kapcsolatos vizsgálatokat, ehhez a nagyobb kutatáshoz volt szerencsém csatlakozni. Mivel a mézek kiváló indikátorai a környezetnek, vizsgálatuk több aspektusból is fontos, mind élelmiszerként való fogyasztása miatt, mind környezetvédelmi szempontból.

Jelen munka fő célkitűzése a makro- és mikroelemek mennyiségének tanulmányozása mellett, a technológiailag kritikus elemek (TCE) előfordulásának vizsgálata a Debrecen környékén termelt különböző mézfajtákban. Kutatásunk során arra a kérdésre szerettünk volna választ kapni, hogy a növekvő urbanizáció és industrializáció hogyan befolyásolja egyes elemek mennyiségét ebben az élelmiszerként is fogyasztott környezeti indikátorban. Munkánk során a makro- és mikroelemek vizsgálata mellett, kifejezett figyelmet szentelünk a technológiailag kritikus elemekre, melyek a növekvő urbanizációs tevékenységek kiváló indikátorelemei lehetnek.

2 Irodalmi áttekintés

2.1 Méhek

A mézelő méhek, háziméhek (*Apis mellifera*) euszociális rovarok, megközelítőleg 40 000 egyedből álló kolóniákban élnek, amelyeknek egyedei a nőstények (dolgozók), igen kevés hím (herék, a kolónia kevesebb, mint 0,1%-a) és jellemzően egy királynő, mely a kolónia egyetlen szaporodóképes nősténye. A méhek többsége terméketlen dolgozó, akik általános élettartama hat hét, kivéve a teelő kolóniákat, ahol több hónapig is élhetnek. A dolgozók életkoruktól függően különböző feladatokat látnak el, az idősebbek gyűjtögető méhekké válnak, akik feladata a virágpor, a nektár, a propolisz, a mézharmat és a víz felkutatása.[3][4]

Magasan fejlett érzékszerveik segítségével keresik a táplálékot, ilyen például az összetett szemük, amely különböző virágszínek által visszavert ultraibolya sugárzásra érzékeny, valamint különböző receptorokkal felszerelt csápjaik, amelyek a virágok illatán kívül, a királynő és a dolgozók által termelt feromonokat is képesek érzékelni. A mézelő méhek egy nektárforrás beazonosítása után, a kaptáron belül táncokkal kommunikálnak egymással, jelezve a kolónia többi dolgozó méhe számára a táplálékforrás irányát és távolságát. [3]

A növények több, mint 90%-át háziméhek és más rovarok porozzák be, így az ökoszisztéma szempontjából is létfontosságúak, óriási jelentőséggel bírnak az ökológiai egyensúly fenntartásában. Emellett a mezőgazdaságban is központi szerepet játszanak, ugyanis globális gazdasági hozzájárulásuk az élelmiszertermeléshez a becslések szerint évi 235-285 milliárd USD. [5]

Az emberi tevékenységek olyan szennyezéseket okozhatnak, amelyek mennyisége és toxicitása gyakran meghaladja a környezet homeosztatikus öntisztulási képességét. Ezért ennek a szisztematikus elemzése és az ellenőrzése egyre nagyobb jelentőségűvé válik. A mézelő méheket, valamint a méhészeti termékeket a környezetszennyezés jó indikátorainak tekintik, legyen szó akár nehézfémekről, radioaktív elemekről vagy tartósan megmaradó szerves szennyező anyagokról (pl. peszticidek). A méhek számos lerakódott szennyezőanyagot bevihetnek a kaptárba. A mezőgazdaságban használt növényvédő és rovarirtó szerek nemcsak a méhek nagymértékű pusztulását okozhatják, hanem a méhészeti termékekbe is bekerülhetnek. Az idegen anyagok jelenléte ezekben a termékekben nem csak azok minőségét és tulajdonságait rontják, hanem még az emberi egészséget is veszélyeztethetik. [6]

A mézelő méhek környezeti bioindikátorként való alkalmazhatósága abban rejlik, hogy a dolgozó kaszt felhalmozza az akár agrokémiai anyagokkal szennyezett nektárt és virágport, ugyanis ezt nem képes megkülönböztetni a nem szennyezett virágportól és nektártól. A mézelő méhek széles táplálkozási preferenciái és a hosszú táplálkozási időszak miatt a mézelő

méhcsalád képes felhalmozni a környezetükben található növényvédőszer maradványokat, amelyek tükrözik a kolónia gyűjtési területének állapotát. A méhek és kaptártermékeik alkalmazhatók más környezetszennyező anyagok kimutatására is, mint például az iparból származó nehézfémek.[7]

2.2 Méz

A méhészkedés ősi foglalkozásai közé tartozott a saját kultúránkban is. Ezt bizonyítják nyelvészeti adatok is, ugyanis a „méz” és „méh” szavunk finnugor eredetűek. [1] A méhészet napjainkban is nagyon fontos szerepet tölt be hazánk gazdaságában. Az Európai Unióban is elismert minőségű termék a magyar méz, a nemzetközi piacokon is versenyképes és igen keresett exporttermék az akácméz, amely viszonylag ritka az Unióban. Országszerte található jelentős méhlegelő területek, mivel a természeti és táji adottságok kedvezőek. 15–20 fajta mézet állítanak elő hazánkban, az akácméz mellett a kevésbé ismert selyemfűméz is hungarikumnak számít, amely enyhe vérnyomáscsökkentő hatással bír. [2]

„A méz az *Apis mellifera* méhek által a növényi nektárból vagy élő növényi részek nedvéből, illetve növényi nedveket szívó rovarok által az élő növényi részek kiválasztott anyagából gyűjtött természetes édes anyag, amelyet a méhek begyűjtenek, saját anyagaik hozzáadásával átalakítanak, raktároznak, dehidrálnak, és lépekben érlelnek.” [8]

A mézek kiváló táplálkozási, antibakteriális, gombaölő és vírusellenes hatásuk miatt fontos szerepet játszanak az emberi táplálkozásban és a gyógyászatban is, hiszen a méz nagyon összetett élelmiszer, amely számos alapvető tápanyagot, különösen aminosavakat, vitaminokat, szerves savakat, enzimeket és ásványi anyagokat tartalmaz. Támogatja az immunrendszert és a májat, nagymértékben segíti az emésztést, a vízkiválasztást, nyugtató hatása is van és az izmokat is táplálja. Fő felhasználási területe a gyógyításban a sebkezelés, a gyulladáscsökkentés, a fertőzések tisztítása és a hegesedés minimalizálása.

Eredet szerint megkülönböztethető a virágméz, amelyet a virágok nektárjából készítenek és az édesharmatméz, melyet pedig főképpen a növényi nedvet szívó, apró, élőködő rovarok választják ki a növényi levelek nedvéből, ezek összegyűjtéséből származik a mézharmat. A virágmézeket tovább lehet bontani fajtamézekre, vegyes mézekre és mézkülönlegességekre (ide tartozik a lépes méz is). Fontos méhészeti termékek még a méhpempő és a propolisz is. [2][8][9] Az előállítási és/vagy megjelenési mód szerint elkülöníthető lépesméz, darabolt lépesméz, csorgatott méz, pergetett méz, sajtolt méz és filtrált méz. [8]

Magyarországon az alábbi mézfajták a leggyakoribbak:

- Akácméz: jellemzően akácvirág illatú, lassabban kristályosodik nagy gyümölcscukor-tartalma miatt és világos színű.

- Napraforgóméz: aromás ízű, kissé kesernyés-savanykás és a színe pedig aranysárga.
- Repceméz: halványsárga színű, gyorsan kristályosodik, ekkor színe fehérré változik. Kevésbé savas kémhatású.
- Vegyes virágméz: színe változatos, a világostól a sötétig változhat, ezek általában gyorsan kristályosodnak.
- Hársmez: jellegzetes illatú, kesernyés ízű, nehezebben kristályosodik és barnás árnyalatú.
- Selyemfűméz: édeskésen fűszeres illatú, aromás ízű, csak kb. két év után kezd kristályosodni. [10]

2.3 A méz összetevői

A méz elsődlegesen különféle cukrokból, túlnyomórészt fruktózból és glükózból, valamint egyéb anyagokból, pl. szerves savakból és enzimekből áll. A méz egy kb. 20 % víztartalmú cukorszirup, mely színe igen változatos lehet, a csaknem színtelentől a sötétbarnáig terjedhet. Ezek az eltérések a virág eredetének, a hőmérséklet változásának, illetve a termék érlelésének köszönhetőek. A méz állaga lehet egészen folyékony, sűrűn folyó vagy részben, illetve egészen kristályos is, a növényi eredettől függően pedig a méz íze és aromája is eltérő lehet. A mézek tulajdonságai és összetételeik sok tényezőtől függhetnek, a nektár vagy mézharmat botanikai eredete, a betakarítási eljárás és a tárolás is befolyásolja. [8][9][11][12]

A mézek szénhidrát tartalmát a mono- és az oligoszacharidok alkotják, viszont kis részben poliszacharidok is találhatóak benne. A fruktóz és a glükóz a legfontosabb monoszacharidok, ugyanis a méz szárazanyag tartalmának 85-95 %-át teszik ki. A méz voltaképpen egy túltelített cukoroldat, így kikristályosodhat. A kristályosodásra való hajlamot a glükóz és fruktóz aránya szabja meg. Minél kisebb a mézben a fruktóz/glükóz arány, annál gyorsabban fog kikristályosodni. Mivel a növényre jellemző nektár cukorösszetétele, így ez alapján meg tudunk különböztetni olyan növényeket, melyek lassan kristályosodó nektárt adnak (ilyen pl. akác, here, bükköny, lucerna) és olyanokat, amelyek erősen kristályosodó mézet adnak (repce, mustár, napraforgó, gyümölcsfák). [12]

A mézek pH értéke kb. 3.2 és 6.0 között van, az átlagérték kb. 3.9. Ezen a pH értéken az állati eredetű patogének szaporodása gátolt. A mézek seb-gyógyító hatásának pontosan ez az egyik tényezője, ugyanis a leggyakoribb sebfertőző mikroorganizmusok pH optimuma általában nem ér el ilyen kis értéket.

A virágmézek átlagosan 0,5-1,5 %-ban, az édesharmat mézek 3 %-ban tartalmaznak fehérjéket. A fehérje kerülhet a virágporból, és a méhek mirigyváladékából is (mézérlelés során) a mézbe. A méh-eredetű fehérjék legnagyobb részben enzimek. Ezeknek az enzimeknek

a mennyiségét sok tényező, így például a nektár koncentrációja és az összetétele is, de a méhek életkora is befolyásolja. Jó példa erre, hogy kis koncentrációjú lesz a diasztáz és az invertáz, ha sok a nektár és nagy a cukorkoncentrációja a méznek. Ezen enzimeken felül még a glükóz oxidáz és a kataláz enzim is kimutatható a mézekben. A szabad aminosavak közül a prolin jelenik meg a legnagyobb mennyiségben. [12] A növények gyakran prolinban gazdag virágnektárt termelnek, mivel a méhek az ilyen nektárokat részesítik előnyben, feltételezhető az összefüggés, a látogató beporzók vonzására. [13]

A méz sárgás-barnás színéért a flavonoid színezékek felelősek legnagyobb mértékben. A flavonoidok a propolisz tömegének egyharmadát adják, ez a forrása az antioxidáns hatásának. A propolisz a méhek által kiválasztott méhviasznak és különböző növényekből kiválasztott anyagoknak a keveréke. A mézben a flavonoidok mellett más fenolvegyületek is kimutathatók, legnagyobb mennyiségben benzoosav- és fahéjsav-származékok, amelyek szintén hozzájárulhatnak az antioxidáns hatásához. [12]

A mézben megtalálható egyéb komponensek a vitaminok, a fruktóz bomlásterméke, a hidroximetil-furfurol (HMF) és az aromaanyagok is. Vitamin nagyon kis mennyiségben, de sokféle fellelhető a mézben. Majdnem minden mézfajtában megtalálható a B₁, B₂, B₅, B₆ vitamin, az aszkorbinsav azaz a C-vitamin, a K-vitamin, a pantoténsav, a niacin és a biotin. A méz aromaanyagai nem számottevőek tömegükben, inkább az élvezeti értékükhöz járulnak hozzá nagyban. [12]

2.4 Mézek elemösszetétele

A méz ásványianyag-tartalma igen kicsiny: 0,1-0,2% a nektármézekben és körülbelül 1,0% a mézharmatmézekben. A különböző ásványi anyagok és nehézfémek mennyisége a mézben nagymértékben függ a talaj összetételétől, a környezettől és a nektárt adó növény fajtájától is, mivel az ásványi anyagok a gyökereken keresztül jutnak be a növényekbe és a nektárba, végül pedig az abból előállított mézbe. Ezen tényezők mellett a méhtartási módszerek, a környezetszennyezés és a mézfeldolgozás módja is hozzájárul a mézben található változatos ásványianyag-tartalomhoz. Így például azok a mézek, melyek savanyú talajokról származnak, nagyobb koncentrációban tartalmazznak ásványi anyagokat, mint amelyek bázikus talajokról valók. [14][15]

Egyes kutatások szerint ipari területek közelében talált mézekben nagyobb koncentrációban található toxikus nyomelemek vagy nehézfémek. Olaszországban a szennyezett területekről gyűjtött mézmintákban nagyobb Pb-koncentrációt mutattak ki. Valamint olykor nagyobb mennyiségű kadmium található a mézben, a mezőgazdaságban használt ásványi műtrágyák és növényvédő szerek miatt. [15][16]

A mézben előforduló főbb és kisebb elemek közül a K van a legnagyobb koncentrációban jelen, ezt követi a Na, míg a Mg, Ca, Fe, Zn és Cu közepes mennyiségben található meg. Bár a mézekben található ásványi anyagok mennyisége látszólag kis százalékban mutatkozik meg a méz egyéb összetevőihöz képest, néhány elem viszont hasonló vagy akár nagyobb mennyiségben található meg, mint egyes gyakori gyümölcsökben és zöldségekben. Például 100 g mézből (fajtától függően) átlagosan 0,4 mg vas érhető el, ami több, mint az almában (0,2 mg), áfonyában (0,2 mg), grépfrútban (0,2 mg), kiviben (0,3 mg), mangóban (0,2 mg), papayában (0,2 mg), ananászban (0,3 mg). A mézben számos esszenciális nyomelem található, mint például a szilícium (Si), a rubídium (Rb), a vanádium (V), a cirkónium (Zr), a lítium (Li) és a stroncium (Sr). Azonban néhány toxikus elem, mint például az ólom (Pb), a kadmium (Cd) és az arzén (As) szennyezőanyagként lehet jelen. [17] A virágtípusok nemcsak az ásványi és toxikus elemtartalom közötti különbségeket, hanem a méz összetételét, ízét, színét és aromáját is meghatározzák. [15]

A mézben lévő legjelentősebb mikroelemek a vas, a mangán és a réz. A fajtamézeket összehasonlítva az vehető észre, hogy az akácmézek jó néhány makroelemből a legkevesebbet, míg az édesharmatméz a legtöbbet tartalmazza. Valamint az akácmézekben nagyobb a nátriumtartalom a selyemkóró, a napraforgó, a facélia és a repce mézekéhez képest. A selyemkórómézből mérték a legnagyobb vastartalmat, az édesharmat mézeknek pedig kiemelkedően nagy az alumínium- és szilícium tartalma. [12][14] Ezen elemek közül a króm, a mangán, a szelén, a kén, a bór, a kálium, a kalcium és a fluor különösen fontosak az emberi táplálkozásban. [9]

A mikro- vagy nyomelemek hasznosak az egészség szempontjából, különösen, ha szerves vagy növényi forrásból származnak. A Ca esszenciális ásványi anyag, mivel jelentősen hozzájárul számos biológiai funkcióhoz a szív-, ideg- és mozgásszervi rendszerben, beleértve a csont- és fogképzést is. Továbbá számos enzim kofaktoraként működik. A Na létfontosságú szerepet játszik az optimális vérnyomás, a veseműködés, valamint az ideg- és izomfunkciók fenntartásában. A K jelenlétének a Na-hoz hasonlóan egyensúlyban kell lennie a keringési rendszerrel, és a K segíti az idegi funkciókat, a szív működést és az izomösszehúzódást is. A mézben található másik kulcsfontosságú ásványi anyag a Mg, amely akár 300 enzim kofaktoraként működhet, amelyek többsége az antioxidáns reakciókhoz kapcsolódik. A Mg hiánya hozzájárul az öregedéshez és az életkorral összefüggő rendellenességekhez. [15]

A nyomelemek optimális koncentrációban hasznosak, de nagyobb koncentrációban a nehézfémek mérgezővé válhatnak. A toxicitás azért következik be, mert a fém nem képes a szervezetben metabolizálódni, így felhalmozódik. A nehézfémek által okozott egészségügyi problémák közé tartozik a fejfájás, anyagcsere-rendellenességek, légzési zavarok, hányinger és

hányás. A Pb például károsíthatja az agyat, a vesét, az idegrendszert és a vörösvértesteket. A legveszélyesebb toxikus elemek közé tartozik az As, a Pb és a Cd. Az As és a Cd mérgezések viszonylag ritkábban fordulnak elő a mézzel kapcsolatban, a kisebb felhasználás miatt, viszont az ólommal való szennyezettségről gyakran számolnak be. A mézben található egyéb nehézfémek közé tartozik a Cr, Zn, Hg, Mn és Ag, amelyek mind károsak az emberi egészségre, viszont fontos szerepet játszanak a környezetszennyezés bioindikátoraiként. [15]

Az ételmiszer külseje, megjelenése igen fontos tényező, mivel ez a fogyasztó első benyomása. A méz színe változó, az áttetszőtől vagy halványsárgától a sötétvörösre vagy akár a feketéig terjed. A színt elsősorban a botanikai eredet, az ipari feldolgozási módszerek, a hőmérséklet és a tárolás időtartama határozza meg. [15] Az antioxidáns- és az elemtartalom is korrelál a méz színével, ugyanis minél sötétebb a méz, annál nagyobb az előbbiek mennyisége. [9][10] Így a sötét és borostyánszínű mézek (gesztenye, mézharmat, kender) nagyobb koncentrációban tartalmaznak bizonyos makro- és mikroelemeket (például Al, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Zn) a világos, halványszínű mézekhez képest, míg a borostyánsárga világos mézek (eukaliptusz- és kakukkfűmézek) köztes értékeket mutatnak. Számos tanulmány mutatja, hogy a sötétebb színű mézek több ásványi anyagot is tartalmaznak, míg a világosabbak (citrusfélék, rozmarin és levendula) kevesebbet, a borostyánszínű világos mézek pedig közepes mennyiségben. [15]

2.5 Kutatási előzmények

A párizsi Notre-Dame székesegyházban 2019 áprilisában bekövetkezett tűz nem csupán épületi károkat okozott, hanem komoly szennyezéssel is járt, ugyanis jelentős mennyiségű ólomban gazdag port bocsátott ki a városra. Annak érdekében, hogy feltérképezzék a környezeti hatásokat Kate E Smith és munkatársai 36 mézmintát gyűjtöttek a tűz után (2019 júliusában) Île-de-France egész területén lévő kaptárakból. Ezeket a mintákat elemzés alá vetették a fémkoncentráció, valamint az ólom-izotóp összetétel meghatározása céljából. Az eredmények azt mutatták, hogy a tűztől széliránnyal azonos irányban lévő kaptárakból származó mézek Pb-koncentrációja megemelkedett (0,023 µg/g) a Párizs központi részéből (0,008 µg/g), a tűz előtti Párizsból (0,009 µg/g) és a Rhône-Alpes régióból (0,004 µg/g), mint háttér területről származó többi mézhez képest. Emellett azt tapasztalták, hogy a tűz nem befolyásolta a párizsi mézek ólom izotóparányát. Ez a tanulmány egyértelműen bebizonyította a mézelő méhcsaládokkal és mézekkel végzett biomonitoring jelentőségét. Ez különösen igaz a nehézfémekre, amelyekre jellemző a felhalmozódás. [18] Az előbbiek is alátámasztják, hogy a mézek elemösszetételének, valamint beltartalmának vizsgálata kiemelkedő jelentőséggel bír mind a környezetvédelem,

mind az élelmiszerbiztonság szempontjából. Ennek megfelelően, számos kutatás összpontosít az ásványi anyagok mennyiségének meghatározására irányuló kutatásokra.

Kutatócsoportunk is számos fontos vizsgálatot végzett ezzel a témával kapcsolatban. Általuk készült el az a tanulmány 2019-ben, mely a legátfogóbb Magyarországot tekintve, hiszen az ország egész területéről összesen 187 mintát, köztük 11 különböző mézfajtát és speciális méhészeti termékeket vizsgáltak. 4 makroelem (Na, Ca, Mg, K) és 15 mikroelem (Al, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn) koncentrációját határozták meg MP-AES (mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometria) technikával. A kísérleti adatok kiértékelését statisztikai elemzéssel (ANOVA, CDA) végezték. Azt állapították meg, hogy a botanikai jellemzők a geográfiai eredethez képest nagyobb hatással vannak a vizsgált mézminták elemösszetételére, ugyanis a mézfajták közötti különbségek nagyobbak voltak, mint a régiók közöttiek. A mintákban a legnagyobb koncentrációban kálium volt jelen, és a gesztenyemézek kiemelkedő ásványianyag-tartalma volt megfigyelhető. Továbbá megállapították, hogy az MP-AES módszer megfelelő és költséghatékony alternatívának bizonyult az előkészített mézminták elemanalízisére. [19]

Szintén kutatócsoportunkhoz tartozik egy tanulmány, amely új megközelítést mutat be mézek vizsgálatára az AMS radiokarbon mérések és a MP-AES technikával végzett elemanalízis alkalmazásával. Huszonhat akácmézet és három ismeretlen botanikai eredetű mézet gyűjtöttek 1958 és 2018 között, elemösszetételüket MP-AES módszerrel végezték, valamint AMS technikát használtak a mézminták valós korának megerősítésére, és a méhészeti termékek radiokarbon alapú kormeghatározás lehetőségének tesztelésére. A magyarországi akácmézek elemtartalmának hosszú távú időbeli változását vizsgálták, 19 elem (Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr és Zn) keresztül. Megállapították, hogy a mézminták alkalmasak a természetes és antropogén eredetű környezeti hatások hosszú távú indikátoraiként való felhasználásra. A szerves komponensek megmaradnak a méhészeti termékekben, így a mézek a talaj tulajdonságaira, a levegő szennyezettségére és más típusú, régebbi korok szennyezettségére is utalnak. [20]

Az előző kutatás kibővítését szintén Sajtos Zsófi és munkatársai végezték, melynek során 36 repce-, napraforgó- és erdei méz minta elemösszetételének vizsgálatát és AMS radiokarbonos kormeghatározását végezték. A minták 1985 és 2018 közöttiek voltak, valamint földrajzilag közeli helyekről származtak. 19 elem koncentrációját határozták meg mennyiségileg: Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Zn. Az eredmények alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a méhészeti termékek típustól függetlenül hasznos környezeti információkkal szolgálnak az elmúlt évtizedekről, például nyomon követhető a levegőben lévő Pb-kibocsátás csökkenő tendenciája. Valamint arra, hogy

a repce-, napraforgó- és erdei mézminták nem olyan megbízhatóak radiokarbon kormeghatározáshoz, mint az akácmézek. [21]

Cziza Nikolett és munkatársai végeztek olyan kutatást, amelynek célja az esszenciális és a toxikus elemek koncentrációjának meghatározása volt 34 magyarországi mézmintában, valamint a virágeredet és az elemtartalom közötti kapcsolat vizsgálata. Tíz elemet (Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P, S és Zn) ICP-OES, hatot (As, Cd, Cr, Mo, Pb, Se) pedig ICP-MS módszerrel azonosítottak. Megállapításaik szerint a kálium, a kalcium és a foszfor voltak a legnagyobb mennyiségben előforduló elemek. Az analizált mintákban az esszenciális elemek tartalma nagyon kevés volt, a következő sorrendet állapították meg ezen elemekre: $K > Ca > P > S > Mg > Zn > Mn > Fe > Cu$. Valamint a toxikus elemek koncentrációját is elég kicsinek mérték ahhoz, hogy ne jelentsen kockázatot az emberi egészségre. [9]

Szintén Cziza Nikolett és munkatársai végeztek egy tanulmányt, melynek során hat makroelemet (Ca, K, Mg, Na, P és S) vizsgáltak 140 hazai mézmintákban (akác, hárs, napraforgó, repce, gesztenye, selyemfű, facélia), ICP-OES technikával. A botanikai eredet meghatározását a különböző mézek elemtartalma és egyes elemek egymáshoz viszonyított aránya alapján, ANOVA és lineáris diszkriminanciaanalízis (LDA) segítségével végezték. Megállapították, hogy ezekben a méztípusokban a K volt a legnagyobb mennyiségben előforduló elem, amelyet a P, Ca, S, Mg és Na követett. Valamint, hogy az elemkoncentrációk közötti különbségek a legtöbb esetben szignifikánsak voltak a virágtípusok között, viszont amikor mind a hat elemet hasonlították össze a botanikai eredetet tekintve, nem tudtak minden mézfajtát szeparálni. Az elválást javította az elemek számának csökkentése (K, Na és Mg), de az akác- és a facéliamézeket ebben az esetben sem tudták hatékonyan elkülöníteni. [22]

A következő tanulmányban, ismételten Cziza Nikolett és munkatársai 19 elem mennyiségét vizsgálták két magyarországi megyéből (Békés valamint Szabolcs-Szatmár-Bereg megye) származó öt-öt talaj-, virág- és mézmintában (akác és napraforgó) ICP-OES technikával. Eredményeik alapján megállapították, hogy a talajból a mézbe való bioakkumuláció hasonló volt az akácvirágokkal és napraforgóval borított területeken. Arra a következtetésre jutottak, hogy az akácvirágokkal és napraforgóval termő területeken a méz pontos becslést nyújthat a talaj elemek koncentrációjáról Cu és Ba esetén, valamint releváns információkat szolgáltat Sr, Ni, Zn, Mn, Pb és As tekintetében. Ezzel a vizsgálattal a mézek, virágok és talajok elemtartalma közötti összefüggéseket igazolták. [23]

2.6 Technológiailag kritikus elemek

A technológiailag kritikus elemek, olyan csúcstechnológiás eszközökben alkalmazott fémek, melyek kitermelése jelentősen megugrott a közelmúltban. [24] Ezekről az elemektől

társadalmunk és gazdaságunk egyre inkább függ, ugyanis létfontosságúvá váltak a fejlett és innovatív technológiák (pl. elektronika, megújuló energia, közlekedés, mezőgazdaság, egészségügy, katonaság) alkatrészeinek gyártásához. Egy nyersanyagot az ellátási hiány kockázata alapján határoznak meg "kritikusnak", ami a nemzetközi gazdaságra is hatással van. [25]

A legfrissebb besorolások szerint harminc elem tartozik az Európai Bizottság TCE definíciójába, míg az Egyesült Államok Belügyminisztériuma 35 elemet tekint kritikusnak. Fontos megjegyezni, hogy a kritikus nyersanyagok listái nem állandóak, hanem időszakonként módosulnak, összhangban az egyes országok vagy gazdasági szövetségek gazdasági hatásokkal szembeni stratégiai sebezhetőségével, katonai és geopolitikai megfontolásokkal, valamint a természeti katasztrófák és más zavaró események által az ellátási láncra gyakorolt lehetséges hatásokkal. [25]

A technológiailag kritikus elemek közé soroljuk a platinacsoport elemeit (PGE-k), a ritkaföldfémeket (REE-k), valamint a Nb, a Ta, a Ga, a Ge, az In, a Tl és a Te is ide tartozik. [26] A TCE-k meglehetősen heterogén csoportot alkotnak. Főként, hogy kémiai nem koherens elemek csoportja, ugyanis abban, hogy kritikusnak tekinthetők legyenek a kémia nem játszik közvetlen szerepet. Valamint a használatuk környezeti hatásaival kapcsolatos ismereteink szintje meglehetősen eltérő: míg a Pt és Pd elemek hatása már régóta ismert, addig az Nb vagy a Ta ezen viselkedéséről szinte semmit sem tudunk. [27]

A technológiailag kritikus elemekkel kapcsolatos ismereteink jelentős hiányosságokkal rendelkezik, a környezeti szintjüktől és sorsuktól kezdve a potenciális (öko)toxikológiai hatásukig. Ez főként két tényezővel magyarázható: első, hogy jellemzően ultra-nyomnyi a koncentrációjuk, ami rendkívül nehéz és/vagy időigényessé, valamint költségessé teszi az analitikai meghatározásukat, a második pedig, hogy az új technológiai alkalmazások növekvő igényét követő jelenlegi tömeges felhasználásukat megelőzően nem játszottak jelentős ipari szerepet (néhány biomedicinális alkalmazástól eltekintve). [28] Így nem meglepő, hogy egyre nagyobb igény mutatkozik olyan analitikai technikák iránt, amelyekkel képesek lehetünk mérni és vizsgálni, ezeket a technológiai alkalmazásokban egyre gyakrabban használt kémiai elemeket, a környezeti közegekben. [29]

2.7 Atomspektrometria

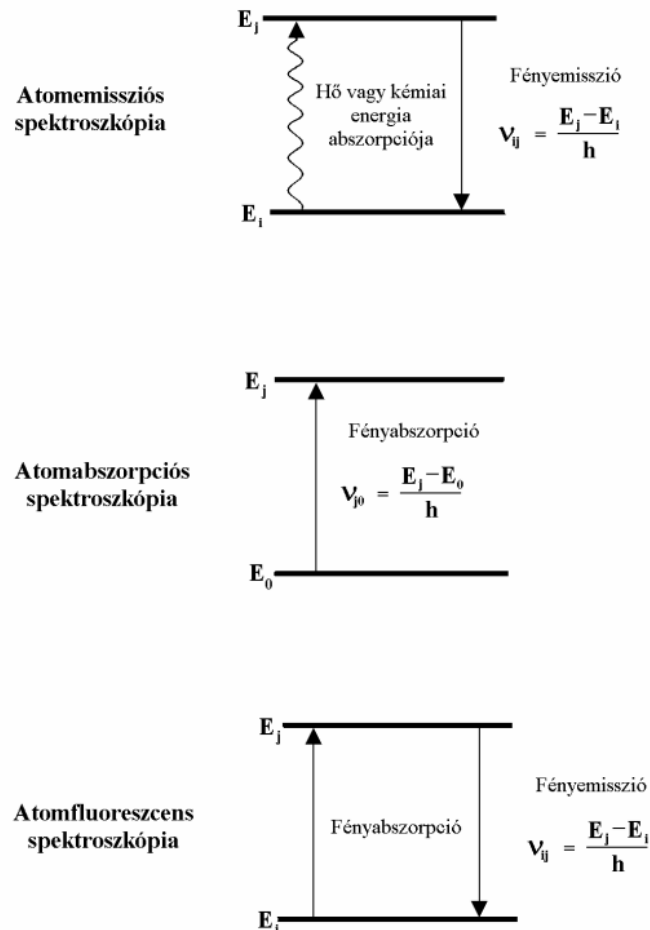
Kirchhoff és Bunsen 1859-ben adta meg a spektrumra vonatkozó addigi ismeretek értelmezését, ugyanis ha energiát közlünk az egyes gőzök vagy gázok atomjaival, akkor azok olyan vonalas spektrumot bocsátanak ki, amely rájuk jellemző. Ezen atomok képesek elnyelni a kibocsátott fény hullámhosszával megegyező hullámhosszú fényt. Ezáltal megjelennek a

nagynyomású gázok és az izzó szilárd testek által kibocsátott folytonos színekben az abszorpciós vonalak. 1928-ban Lundegardh olyan lángspektrográfot készített, amely nemcsak az elemek minőségi, de mennyiségi meghatározására is alkalmas volt. Az 1950-es években megjelentek az emissziós spektrométerek, amelyek fotoelektromos detektálási rendszerűek. Az első (lángtechnikás) atomabszorpciós spektrofotométert 1957-ben építették meg Walsh és munkatársai. A 60-as évek végén pedig L'vov és Massmann dolgozta ki a grafitkemencés atomabszorpciós spektrometria alapjait. [30]

Az atomspektrometria módszercsaládjáról elmondható, hogy közel 70-80 elem minőségi és mennyiségi meghatározását teszi lehetővé, kis és jó kimutatási határokkal rendelkezik, kicsi a mintaigénye és automatizálható. Ezeket a berendezéseket széles körben alkalmazzák fémek nyomnyi mennyiségének meghatározására, főként olyan esetekben, ahol igen kis koncentrációban kell meghatározni az elemeket [30]

Az atomspektrometria három alapvető módszert foglal magába (*1. ábra* szemlélteti):

- Atomemissziós spektrometria (AES): Olyan esetben mondhatjuk, ha gerjesztett molekulák, atomok, esetleg ionok által kisugárzott molekulasávok, illetve atom- és ionvonalak intenzitását mérjük.
- Atomabszorpciós spektrometria (AAS): Erről akkor beszélünk, ha olyan hullámhosszúságú fénynyalábot bocsátunk keresztül az atomizáló cellán, amelyet az alapállapotú atom képes abszorbeálni, majd az így bekövetkezett fényintenzitás-csökkenést mérjük.
- Atomfluoreszcens spektrometria (AFS): Erről a módszerről akkor van szó, amikor külső fénnel sugározzuk be az alapállapotú atomokat, de a különbség abban rejlik, hogy itt nem a részecskék által abszorbeált, hanem az abszorpciót követően adott hullámhosszon kisugárzott vonalak intenzitását mérjük. [30]



1. ábra Az atomspektrometria három alapvető módszere. [30]

2.7.1 ICP-OES

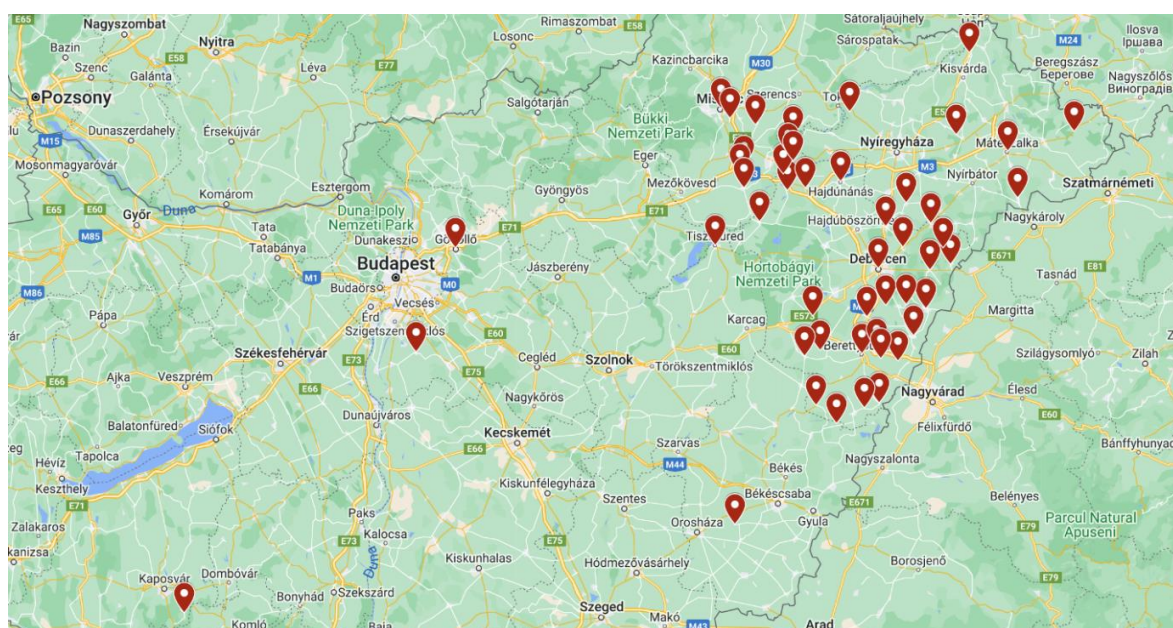
Az ICP-OES (induktív csatolású optikai emissziós spektrometria) 1974-ben jelent meg a piacon. Széles körben használják mind a rutinanalitikai laboratóriumokban, mind speciálisabb elemzési és kutatási célokra megbízhatóságának, több elemre vonatkozó meghatározási lehetőségeinek és nagy áteresztőképességének köszönhetően. [31] Az egyik elsődleges alkalmazása a nagyon kis koncentrációjú elemek analizálása. Így az ICP-OES nagy szerepet játszik a talajminta-vizsgálatok, az élelmiszer-vizsgálatok és az ivóvízelemzések során. A környezetvédelmi ágazat csak egy, ezen technika számos fontos alkalmazási területe közül, ugyanis más területeken is meghatározó szerepe van. Az üzemanyagokban lévő nyomelemek például a motorok idő előtti kopását okozhatják. A fémekben lévő legkisebb szennyeződések is befolyásolhatják ezen anyagok legfontosabb tulajdonságait. A nehézfémek pedig évtizedekig szennyezhetik az ivóvizet, környezetet. Ezáltal az alacsony kimutatási határokkal rendelkező vizsgálatok meglehetősen fontosnak bizonyulnak. Az ICP-OES a legalkalmasabb ezen feladatra, felváltva az elemanalízis más módszereit, hiszen rövid elemzési idő, alacsony minta-előkészítési idő, többelemes detektálás és kivételes érzékenység jellemzi ezt a módszert. [32]

Az induktív csatolású plazma optikai emissziós spektroszkópia egy olyan analitikai módszer, amellyel a periódusos rendszer közel 80 eleme egyidőben meghatározható. Alapja, hogy az atomok és ionok képesek energiát elnyelni azért, hogy az elektronokat alapállapotból gerjesztett állapotba juttassák. A gerjesztett atomok alacsonyabb energiaszintre való átmenete során meghatározott hullámhosszú fényt bocsátanak ki. Amikor egy elektron egy magasabb energiaszintről visszatér egy alacsonyabb szintre (ez általában az alapállapot), olyankor nagyon specifikus hullámhosszú fényt bocsát ki. Az atom vagy ion típusa (azaz, hogy melyik elemről van szó), valamint az az energiaszint határozza meg a kibocsátott fény hullámhosszát, amely között az elektron mozog. Az egyes hullámhosszokon kibocsátott fény mennyisége arányos az átmenetet végző atomok vagy ionok számával, így lehetővé téve a kvantitatív meghatározásukat. [33]

3 Anyag és módszer

3.1 Mintagyűjtés

A labormunka során vizsgált mézek magyarországi méhészekről származtak. A méhészekkel elektronikus levelekben és telefonon vettük fel a kapcsolatot, ezáltal 97 db méz minta érkezett a laborunkba, az ország 7 megyéjéből. Bár más megyéből is kaptunk méz mintákat, mi azt tűztük ki célul, hogy Hajdú-Bihar megyéből, ezen belül is Debrecenről és környékéről szerezzük be a vizsgálandó mézeket. Ezen mintákat a méhészek feliratozták, melyen szerepelt a méz fajtája, évjárat, valamint a származási helye is. Évjárat szerint leginkább a 2023-as mézeket vizsgáltuk, de emellett volt néhány 2022-es évből származó is. A 2. ábra szemlélteti a mézek származási helyeit.



2. ábra A mézek beszerzési helyei.

Mézfajták szerinti csoportosítás:

- Akác: 48 db
- Napforgó: 21 db
- Repce: 9 db
- Vegyes virágméz: 17 db

Ezenkívül érkezett 1-1 db hárs- és mézharmatméz is a laboratóriumunkba

A következő csoportosításnál is látható, hogy a mintagyűjtés során leginkább Hajdú-Bihar megyére fókuszáltunk hiszen, ehhez képest a többi megyéből csak pár darab érkezett.

Megyék szerinti csoportosítás:

- Hajdú-Bihar: 73 db
- Szabolcs-Szatmár-Bereg: 11 db
- Pest: 2 db
- Békés: 2 db
- Somogy: 1 db
- Borsod-Abaúj-Zemplén: 7 db
- Jász-Nagykun-Szolnok: 1db

3.2 Minták előkészítése

A minta-előkészítés első lépése a minták alapos homogenizálása volt. Így lehetünk bizonyosak benne, hogy a kimért kis mennyiség az egész mintára nézve reprezentatív lesz és minden komponenszt tartalmazni fog. A homogenizálás némely méznél nehezebb volt, míg némelyiknél egyszerűbb, hiszen egyes mézek kikristályosodtak, ezeket nehezebb volt elkeverni. Ezután 50 mL térfogatú főzőpoharakba, analitikai mérlegen (Precisa 240A) bemértünk kb. 0,5 grammot a mintákból. Az üvegpoharakat előzetesen 1:5 hígítású salétromsavban áztatva tisztítottuk meg. A bemért mintákat szárítószekrénybe helyeztük 105°C-on megközelítőleg 24 órára. Tömegállandóságig szárítottuk a mézeket, szárazanyagtartalmukat gravimetriásan határoztuk meg.

Ezután kezdtük meg a minták roncsolását. Elsőként 4,0 ml 65% HNO₃-at (Merck) mértünk a mintákra diszpenzer segítségével, majd atmoszférikus körülmények között elektromos főzőlapon melegítettük 100-120 °C hőmérsékleten, megközelítőleg 4 órán keresztül. A reakció során barnás nitrozusgázok fejlődtek. Ezen folyamatot szemlélteti a 3. *ábra*. Lehűlést követően a szervesanyag-tartalom teljes oxidációja érdekében 1,00 mL ultratiszta vizet (Synergy UV Millipore MilliO) és 1,00 mL H₂O₂-t (VWR) adagoltunk a mintákhoz. Ebben az esetben is figyeltünk arra, hogy ne pároljuk teljesen szárazra a mintákat.



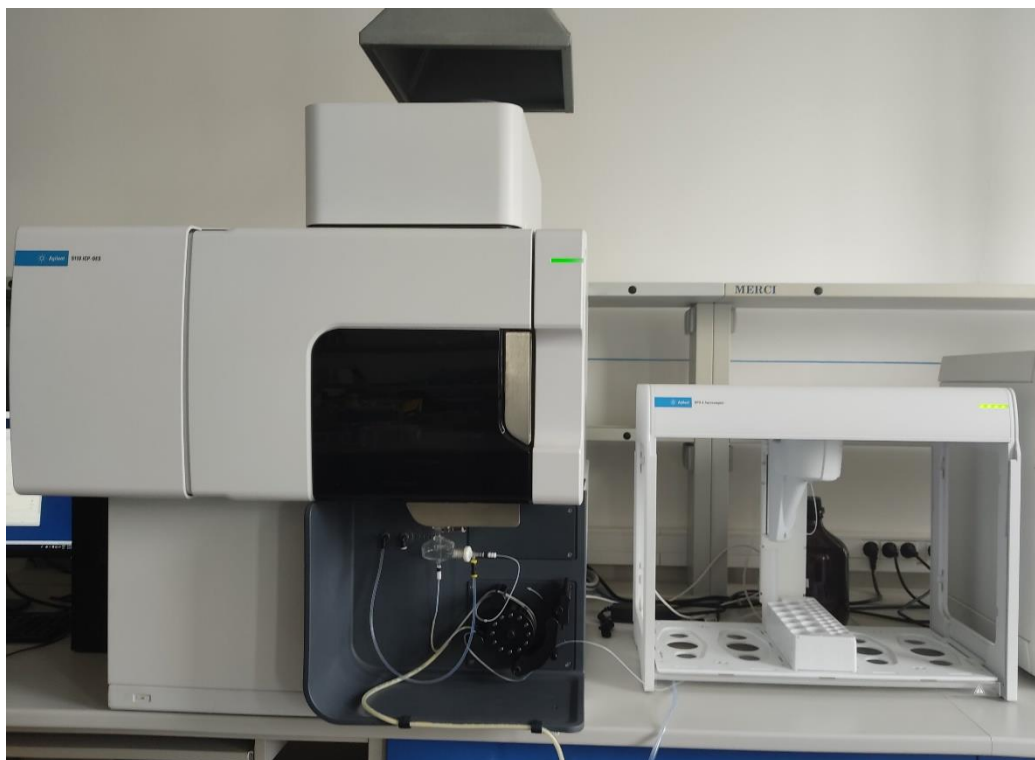
3. ábra A roncsolás során fejlődött nitrozusgázok (saját fénykép)

A nedves roncsolás befejeztével és a minták kihülése után 0,1 M-os salétromsavval térfogatkalibrált PP centrifugacsövekbe mostuk a mintákat és 12,0 mL-es végtérfogatra töltöttük. A maradék komponensek megfelelő oldódását ultrahangos fürdővel segítettük elő. Egy-két minta esetén, amelyben láthatóak voltak nagyobb viaszos, lebegő darabokat, szűrés is szükséges volt, melyhez 0,45 μm pórusméretű PVDF fecskendőszűrőt alkalmaztunk. Az eszközök és a vegyszerek tisztaságát három vak minta párhuzamos mérésével ellenőriztük, amelyet a mintákkal azonos módon kezeltünk.

3.3 Elemanalízis

Induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométer (ICP-OES 5110 Vertical Dual View, Agilent Technologies) készüléken végeztük a minták elemtartalmának meghatározását, amely a 4. ábrán látható. A mérés során Agilent SPS 4 automata mintaadagolót, Meinhard® típusú porlasztót, double pass ködkamrát alkalmaztunk. Az 1. és 2. táblázat tartalmazza az ICP-OES készülék mérési paramétereit.

A kalibráló oldatsorozatot a mikroelemekre (Ag, Al, B, Bi, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn) egy multielemes spektroszkópiai standard oldatból (ICP VI, Merck), míg a makroelemekre (Ca, Mg, Na, K, P, S) és a technológiailag kritikus elemekre (Au, Pd, Pt, Rb, Ru, Sb, Ti, Y) is monoelemes spektroszkópiai törzsoldatokból (Scharlau) készítettük el. A mikro- és makroelemek esetében öt pontos, míg a TCE-kenél három pontos kalibráló sorozatot alkalmaztunk, melyek elkészítéséhez ultratiszta (MilliQ Millipore) vízből készített 0.1 M HNO_3 oldatot használtunk.



4. ábra Az ICP-OES készülék, amivel a méréseket végeztük (saját kép)

1. táblázat: ICP-OES mérési paraméterek I.

| Általános paraméterek | |
|---------------------------------|--------------------------|
| Ismétlések száma | 3 |
| Pumpa sebessége | 12 rpm |
| Felszívási idő | 15 sec |
| Öblítési idő | 30 sec |
| RF | 1.20 kW |
| Stabilizációs idő | 10 sec |
| Plazmagáz áramlási sebessége | 12.0 L min ⁻¹ |
| Kisegítő gáz áramlási sebessége | 1.0 L min ⁻¹ |
| Megfigyelési magasság | 8 mm |
| Porlasztógáz áramlási sebessége | 0.7 Lmin ⁻¹ |

2. táblázat: ICP-OES mérési paraméterek II.

| Elem | Hullámhossz (nm) | Megfigyelési mód | Kiolvasási idő (sec) |
|------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ag | 328,068 | axiális | 10 |
| Al | 396,152 | axiális | 10 |
| Au | 242,794 | axiális | 10 |
| B | 249,772 | axiális | 10 |
| Ba | 455,403 | axiális | 10 |
| Bi | 222,821 | axiális | 10 |
| Ca | 396,874 | radiális | 3 |
| Cd | 226,502 | axiális | 10 |
| Co | 228,615 | axiális | 10 |
| Cr | 267,716 | axiális | 10 |
| Cu | 324,754 | axiális | 10 |
| Fe | 238,204 | axiális | 10 |
| K | 766,491 | radiális | 3 |
| Li | 670,783 | axiális | 10 |
| Mg | 279,553 | radiális | 3 |
| Mn | 257,610 | axiális | 10 |
| Na | 589,592 | radiális | 3 |
| Ni | 231,604 | axiális | 10 |
| P | 213,618 | axiális | 10 |
| Pb | 220,353 | axiális | 10 |
| Pd | 340,458 | axiális | 10 |
| Pt | 214,424 | axiális | 10 |
| Rb | 780,026 | axiális | 10 |
| Ru | 245,657 | axiális | 10 |
| S | 181,972 | axiális | 10 |
| Sb | 206,834 | axiális | 10 |
| Sr | 407,771 | axiális | 10 |
| Ti | 334,941 | axiális | 10 |
| Y | 371,029 | axiális | 10 |
| Zn | 213,857 | axiális | 10 |

3.4 Statisztikai analízis

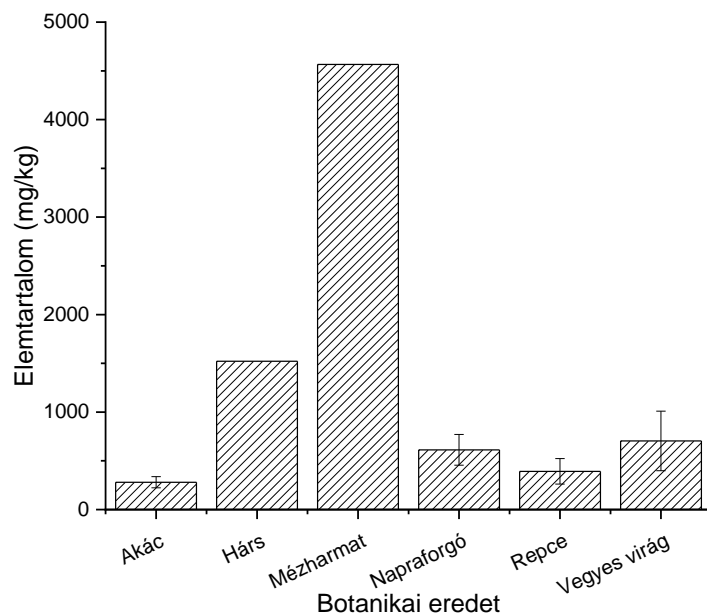
A primer mérési eredmények kiértékelését az IBM SpSS 22.0 statisztikai program segítségével végeztük el. 95%-os konfidenciaintervallum mellett, egyutas varianciaanalízissel (one-way ANOVA) értékeltük a mézminták elemösszetételének eredményeit. Tukey-teszttel tanulmányoztuk a szignifikáns különbségeket, míg a csoporton belüli homogenitás ellenőrzését a Levente-teszttel végeztük. A mézek vonatkozásában többváltozós függvényt alkalmaztunk az elemek koncentrációjára kapott értékek csoportosítására (kanonikus diszkriminanciaanalízis, CDA) a területek és fajok, valamint az urbanizáció és elemtartalom összefüggésének vizsgálatánál.

4 Eredmények és értékelésük

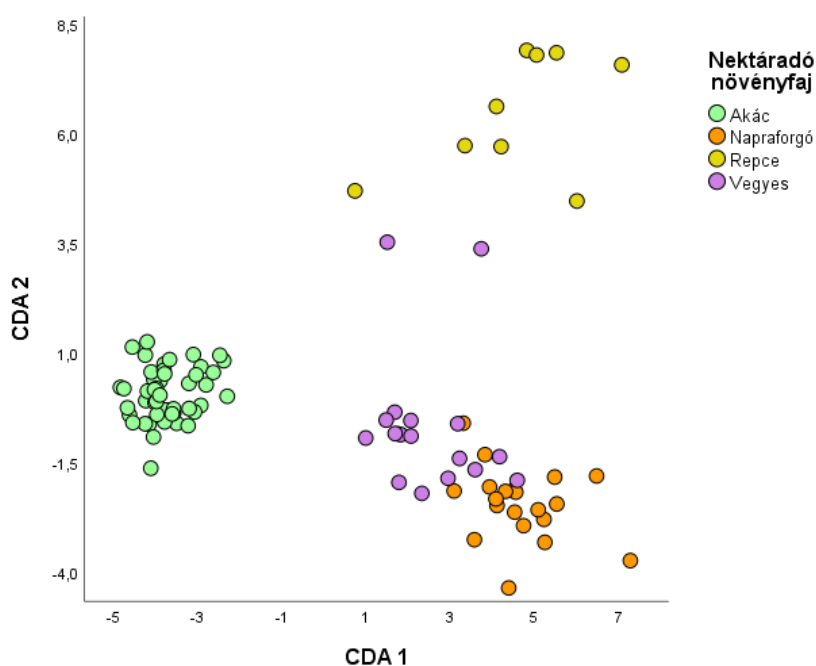
Analízisünk során összesen 30 különböző elem (Ag, Al, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Ru, S, Sb, Sr, Ti, Y, Zn) minőségi és mennyiségi viszonyait vizsgáltuk a mézmintákban. A kiértékelés során különféle szempontokat vettünk figyelembe a mézek elemtartalmának analíziséhez. A vizsgálat fő célja a Hajdú-Bihar megyei mézek összetételének vizsgálata volt, amit megerősít, hogy a 97 mintából 73 a megyéből származott, valamint ezen belül is Debrecen és környékére fókuszáltunk. Többnyire akácmézek érkeztek hozzánk: 48 darab a 97-ből. Az évek szerinti megoszlás tekintetében a 2023-as mézekre helyeztük a hangsúlyt, de néhány 2022-es minta is szerepelt a vizsgálatban. Ennek megfelelően megállapításaink leginkább az előbbiekre vonatkoznak. A mézmintákat főként két nagyobb szempont szerint vizsgáltuk, elsőként egy általánosabb kiértékelést végeztünk, amelyben a mézfajták botanikai eredet szerinti csoportosítására és az elemösszetételük alapján levont következtetésekre összpontosítottunk, míg a második esetben az urbanizációs hatásokat elemeztük a mézmintákon keresztül.

4.1 Mézek botanikai eredet szerinti vizsgálata

A mézek összetétele igen változatos, ahogy ezt az 5. ábra is szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a mézharmatmézben kiugróan nagy az általunk vizsgált elemek mennyisége (4566 mg/kg), bár szinte minden elem esetében ez a méz tartalmazza a legtöbbet, csupán az Al, a Ba és a B, amelyek kivételt képeznek ezalól. A mézminták közül a mézharmat volt a legsötétebb színű, ami alátámaszthatja azt az összefüggést, hogy az elemösszetétel korrelál a mézek színével. Az akác és a repce mézek hasonló értékeket adtak az általunk vizsgált elemek összes mennyiségére (akác: 281 mg/kg (szórás érték: 57,0), repce: 392 mg/kg (szórás érték: 131)), viszont megállapítható, hogy mikro- és makroelemek tekintetében az akácmézek a legszegényebbek. A hárs az a mézfajta, amely viszonylag nagyobb elemtartalommal (1521 mg/kg) rendelkezik viszont a mézharmathoz képest ez is elég csekély. Mivel ezen két mézfajtaból csupán 1-1 darabot vizsgáltunk, így ezek az adatok csak tájékoztató jellegűek, de megállapíthatjuk, hogy korrelálnak korábbi kutatások eredményeivel. [11][19] A napraforgó- és a vegyes virágmézek, az általunk vizsgált elemek összes mennyiségére vonatkozóan hasonló eredményeket adtak (napraforgó: 613 mg/kg (szórás érték: 158) és vegyes: 704 mg/kg (szórás érték: 306)).

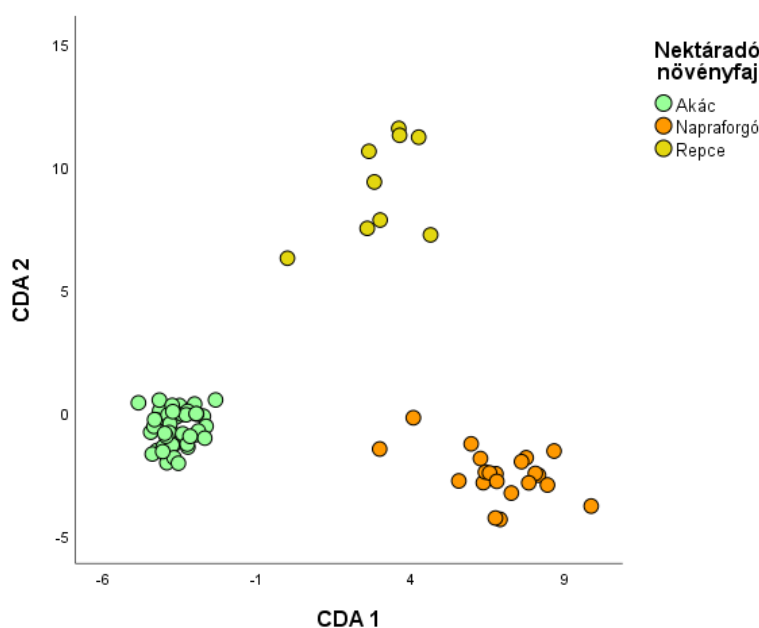


5. ábra Átlagos elemtartalom a különböző mézfajtákban (mivel hárs és mézharmatmézből csak 1-1-darab állt rendelkezésünkre szórást nem tudunk feltüntetni).



6. ábra A fajtamézek összehasonlítása az összes elemtartalom alapján. A teljes varianciát az első funkció 69%-ban, a második funkció 25%-ban, a harmadik funkció pedig 6%-ban magyarázza. A kanonikus korreláció értékek 0,969, 0,920 és 0,762. Valamint a kumulatív százalékok a következők: 69%, 94% és 100%

A 6. ábrán is a mézfajták elemösszetételét hasonlítottuk össze kanonikus diszkriminanciaanalízist (CDA) alkalmazva, azonban csak azokat a típusokat vizsgáltuk, amelyekből legalább 3 db minta érkezett hozzánk. Az ábrán jól elkülönülő csoportok láthatóak, ugyanakkor a vegyes virágmézek kis mértékben átfednek a repce, valamint a napraforgó csoportokkal. Ennek oka, hogy a vegyes virágmézek eredetének megjelölése nem teljesen pontos (nevükből adódóan), mivel bármilyen növényi forrásból származhatnak. Ebben az esetben lehetnek akár repce- vagy napraforgómézek, de nem feltétlenül tisztán azok, ezért vannak vegyesnek megjelölve.

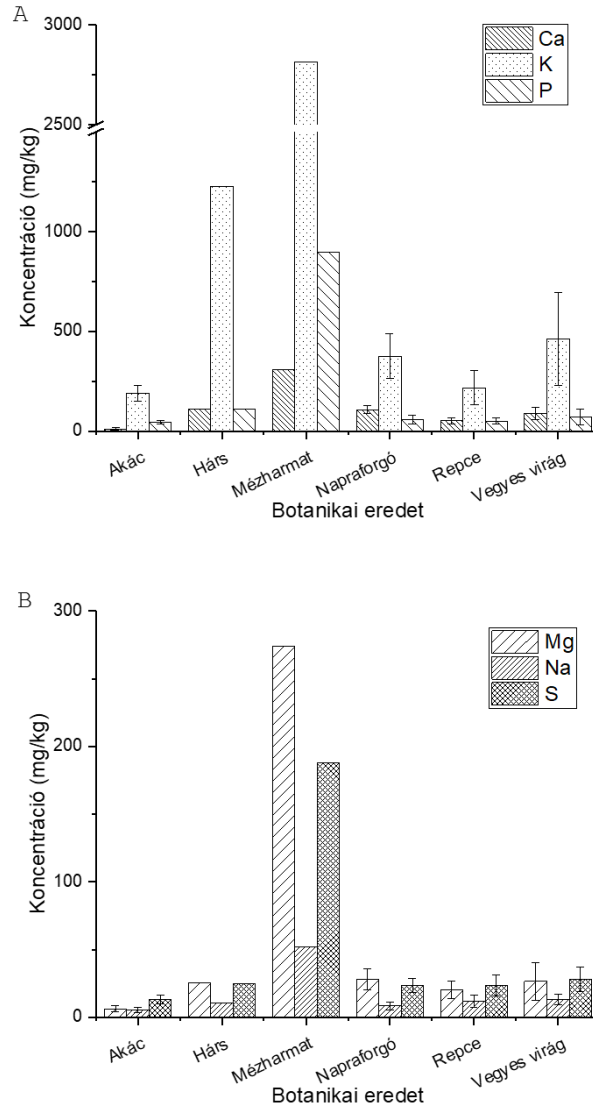


7. ábra A fajtamézek összehasonlítása összetételük alapján, nektáradó növényfaj szerint. Az 1. funkció 65%-ban, a 2. funkció pedig 35%-ban magyarázza a teljes variációt. 0,979 és 0,961 a kanonikus korreláció értékek. A kumulatív százalékok pedig 65% (CDA1) és 100% (CDA2).

A 7. ábrán látható CDA biplot szintén a fajtamézek elemösszetételének felhasználásával készült, ebben az esetben a 3 legnagyobb mennyiségben rendelkezésünkre álló mézfajtát ábráztuk. Nagyon jól megfigyelhető a csoportok szeparációja, a legjobban összetömörülő csoport az akácmézek, ennek oka többek között lehet az is, hogy bolygatatlan területről, fás szárú növény nektárjából származnak. A szentőföldi eredetű napraforgó- és a repcemézek kissé szélesebb eloszlást mutatnak, viszont mind a három mézfajta szignifikánsan elkülönül egymástól.

Néhány vizsgált elem a készülék meghatározási határa alatt volt jelen a mézmintákban. Ezek közé tartozik az ezüst, a bizmut, a kadmium, a kobalt, a króm, a lítium, a nikkel és az ólom. A beérkezett mézekben egészségre káros, toxikus elemeket nem detektáltunk a meghatározási határ felett. A mikro- és makroelemek voltak azok, amelyek nagyobb

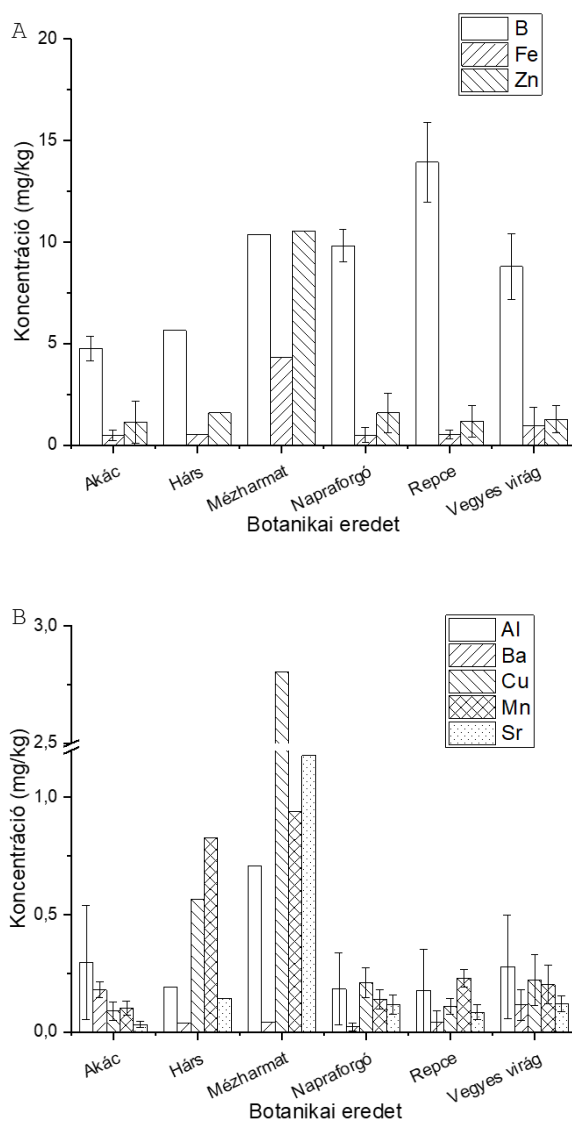
koncentrációban találhatóak meg az általunk vizsgált mézmintákban, ezen elemek jelenléte pedig rendkívül pozitív, hiszen táplálkozási szempontból meglehetősen fontosak. Összesen 14 ilyen elemet azonosítottunk: az Al, a B, a Ba, a Ca, a Cu, a Fe, a K, a Mg, a Mn, a Na, a P, a S, a Sr, és a Zn.



8. A-B ábra A, ábra: Fajtamézek K, P és Ca, valamint B, ábra: Fajtamézek Mg, Na és S átlagos mennyiségének összehasonlítása.

A 8. ábrán a különböző mézfajtákban található makroelemek összehasonlítása látható. A 8. B ábrán az ezen belül kisebb koncentrációban jelenlévő elemeket, vagyis a magnézium, a nátrium és a kén mennyiségét vizsgáltuk, míg a 8. A ábrán az ezekhez képest nagyobb mennyiségben lévő kalcium, kálium és foszfor összevetése látható. Egyértelműen megállapítható, hogy a kálium az az elem, amely minden mézfajtában a legnagyobb mennyiségben jelenik meg, ezt a tényt több hazai és nemzetközi kutatás is alátámasztja. [9][19][34][35] Ezenfelül a kalcium és a foszfor, amely nagyobb koncentrációban találhatóak

meg ezekben a mintákban, valamint a nátrium az a makroelem, amelyből az összes mézben a legkevesebb mennyiségű. Mivel a hársmézből és a mézharmatból csupán egy-egy minta érkezett, így nehezebb az ezekben általunk vizsgált elemösszetételt általánosítani. Tájékoztató jelleggel azt állapíthatjuk meg, hogy a mézharmat kiugróan a legnagyobb koncentrációban tartalmazza ezen elemeket, a hárs pedig hozzávetőleg a második, káliumból, valamint kalciumból ezen méz is igen nagy értékeket mutat.



9. A-B ábra A, ábra: Fajtamézek B, Fe és Zn, valamint B, ábra: Fajtamézek Al, Ba, Cu, Mn és Sr átlagos mennyiségének összehasonlítása.

A mikroelemeket (alumínium, bór, bárium, réz, vas, mangán, stroncium és cink) hasonlítottuk össze a mézfajták csoportosításának függvényében a 9. ábrán. Ebben a vizsgálatban a laborunkba érkező legnagyobb mintaszámmal rendelkező 4 mézfajtát jelentítettük meg a diagramon. Az eredmények alapján a mézharmat ebben az esetben is kiemelkedően nagy koncentrációban tartalmazza ezen mikroelemeket. A 9. B ábrán látható az

ezek közül is kisebb mennyiségben megjelenő Al, a Ba, a Cu, a Mn és Sr, a 9. A ábrán pedig az ezekhez viszonyítva nagyobb koncentrációban lévő B, Fe és Zn összevetése. Az eredmények azt mutatják, hogy a mézmintákban a bór és a cink a legnagyobb koncentrációban jelenik meg a mikroelemek között, míg a legcsekélyebb mennyiségben báriumot tartalmaznak. A bór az összes mézmintában igen nagy a többi mikroelem koncentrációjához képest, viszont különösen érdekes, hogy a bórtartalom a repcemézekben kiugróan nagy, meghaladva még a mézharmatmézében található mennyiséget is.

A mézek elemösszetételének teljesebb megértése érdekében összevetettük az általunk kapott értékeket az előző tanulmányokban publikált eredményekkel (Sajtos et al. [19], Czipa et al. [9]). Az adatok összehasonlítását a különböző mézfajták tekintetében tettük. Az akácmézek esetén sok elemnél az látható, hogy jóval kevesebb mennyiségben jelennek meg az általunk mért mintákban, mint a tanulmányokban lévő minták eredménye, ilyen elem az Al, a Ca, a Mg, az Mn valamint a Na is. A B-ra, a Cu-re, a Fe-ra, a K-ra és a Zn-re vonatkozó értékek korrelálnak, míg két elem a P és a S esetén a jelen dolgozatban vizsgált mintákban nagyobb koncentrációban voltak jelen (P: 46,3 mg/kg, S: 13,0 mg/kg), mint az irodalmi adatokban (P: 26,9 mg/kg, S: 8,90 mg/kg).

A napraforgómézekre vonatkozó adatokból azon következtetésre jutottunk, hogy a legtöbb elem esetén az értékek megközelítik a tanulmányokban közölt adatokat, de egyetlen esetben sem érik. A S teljes hasonlóságot mutat (általunk mért adat: 23,2 mg/kg, irodalmi érték: 23,7 mg/kg), azonban az Al és a Na kivétel, mivel ezen értékeket sokkal kisebbnek mértük (Al: 0,185 mg/kg a 11,5 mg/kg-hoz és Na: 8,28 mg/kg a 55,1 mg/kg-hoz képest).

Megfigyeltük, hogy a repcemézek esetében az Al, a Fe és a Na jelentősen kisebb mennyiségben mutathatók ki a jelen tanulmány mézmintáiban, míg a Cu, a K, a Mg, a Mn és a Zn közelítik az irodalmi adatokat. A S-re vonatkozóan teljesen megegyezik (általunk mért: 23,4 mg/kg, irodalmi: 23,2 mg/kg), míg két esetben (B és P) valamennyivel nagyobb értékeket kaptunk (B-ra 13,9 mg/kg a 11,5 mg/kg-hoz és P-ra 51,0 mg/kg a 42,2 mg/kg-hoz képest).

A vegyes virágmézekkel kapcsolatban azt tapasztaltuk, hogy többségében az értékek korrelálnak a tanulmányokban szereplő adatokkal, a B esetén teljes az egyezés (általunk mért adat: 8,79 mg/kg, irodalmi érték: 8,90 mg/kg). Míg az Al, a Mn és a Zn azonban kivételt képeznek ezalól, lényegesen kisebb mennyiségben mértük kutatásunk során, mint azt az irodalmi értékek alapján várnánk.

A hárs- és a mézharmat mézről a mindössze 1-1 darab mintaszám miatt nehéz pontos következtéseket levonni, így ezen értékelések csupán tájékoztató jellegűek. Teljes korrelációt látunk az általunk mért és az irodalmi adatok között, mindkét méztípus esetén. Néhány elemnél eltérést figyeltünk meg: a hársmézre vonatkozóan a P nagyobb, az Al és a Na pedig kevesebb

mennyiségben található meg, míg a mézharmatot illetően a Mn kevesebb, a Ca, a Mg és a Zn jóval nagyobb koncentrációban jelent meg. Ezen eltérések valószínűleg a kis mintaszámból adódnak.

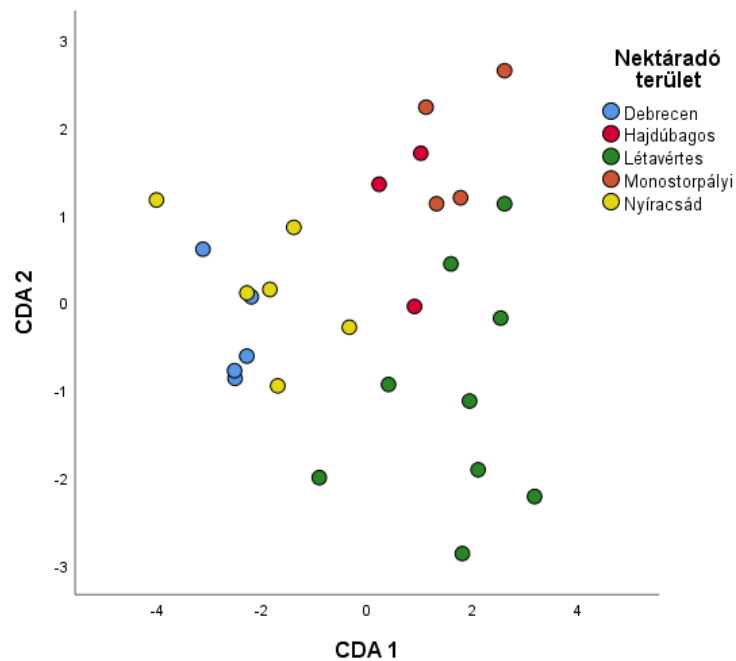
A vizsgálat során számos elem kimutatási határ alatti koncentrációt mutatott (Ag, Bi, Cd, Co, Cr, Li, Ni, Pb), így az ezekre vonatkozó eredmények minden tekintetben kevesebbnek adódtak a tanulmányok által szolgáltatott adatokhoz képest.

4.2 Az urbanizációs hatások elemzése

Az urbanizáció, vagyis a városiasodás folyamata jelentős hatást gyakorol a környezetre és a társadalomra egyaránt. Ennek az átalakulásnak köszönhetően az erdők, mezőgazdasági területek és más természetes élőhelyek várossá alakulnak, ami drasztikus következményekkel jár a természetes ökoszisztémákra. Az ipari tevékenységek, a gépjárművek használata és az energiafogyasztás növekedése miatt a városokban és környékükön gyakran tapasztalható magas szintű levegő- és vízszennyezés. A kipufogógázok, a légkondicionálók és a városi hulladéklerakók károsanyagokat bocsátanak ki a környezetbe. [36] Az urbanizációs hatások elemzése során érdemes különféle csoportosításokat alkalmazni a lakosság számának függvényében. A mézminták elemösszetételének összehasonlító elemzésén keresztül rávilágíthatunk arra, hogy milyen változások történnek az egyes területeken az urbanizáció folyamatában, és milyen hatással van mindez az adott környezetre.

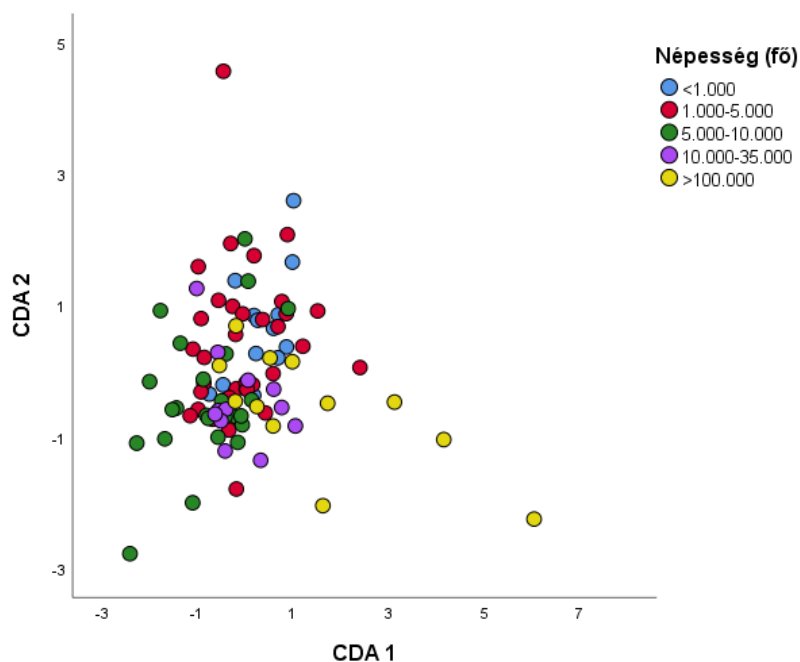
Munkánk során a következő technológiailag kritikus elemek mennyiségét vizsgáltuk a mézmintákban: arany, palládium, platina, rubídium, ruténium, antimon, titán, ittrium, de egyik ilyen elem jelenlétét sem detektáltuk a készülék meghatározási határa feletti koncentrációtartományban.

Az akácmézetek beszerzési területük alapján hasonlítottuk össze, figyelembe véve a különböző elemek jelenlétét. Az alumínium volt az egyetlen vizsgált elem, amelynél némiképp felfedezhető volt az összefüggés az elem koncentrációja, és a városok népessége között, de ebben az esetben is csak nagyon nagy szórás értékekkel. A többi elemre vagy hasonló, vagy pedig egy-egy városban kiugró értéket kaptunk. Debrecenben a legnagyobb az alumíniumtartalom és a városok közül ez a legnépesebb, viszont a koncentráció érték nagysága nem arányos a népesség változásával.



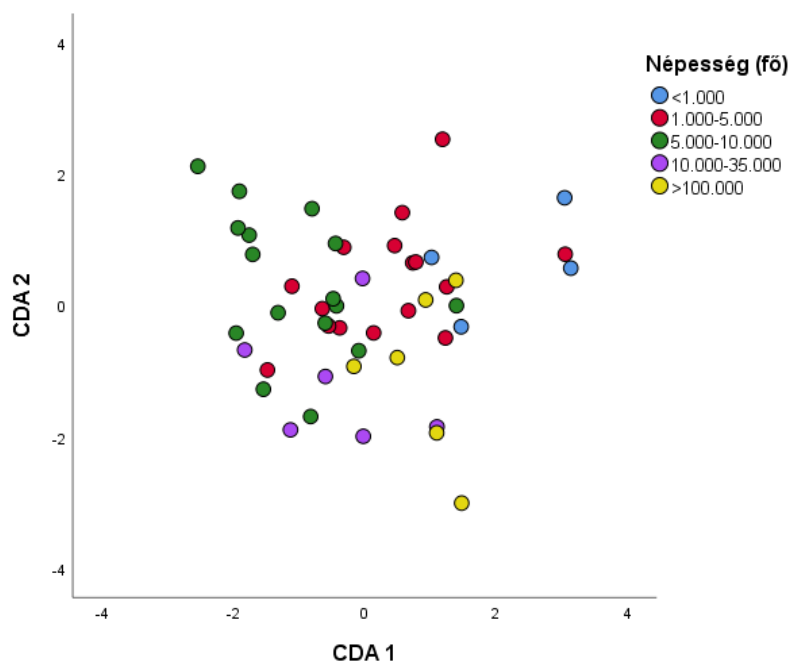
10. ábra Akácmézek elemösszetételének vizsgálata a származási helyük szerint. A teljes variációt az 1. funkció 61%-ban, a 2. funkció 18%-ban, a 3. funkció 14%-ban és a 4. funkció 8%-ban magyarázza. A kanonikus korreláció értékek 0,900, 0,743, 0,697 és 0,584. Valamint a kumulatív százalékok 61%, 79%, 93% és 100% voltak.

A 10. ábrán is látható az előző megállapításunk, ebben az esetben az akácmézeket kizárólag a hajdú-bihari városok elemösszetétele alapján hasonlítottuk össze, és csak azokat a településeket vettük figyelembe, amelyekről legalább három minta állt rendelkezésre. Ezen az ábrán a létavértesi minták válnak el némiképp, viszont ez sem ideálisan, hiszen elég nagy a szórás a minták között. Valamint megfigyelhető, hogy Debrecen és Nyíraczád teljesen egy csoporttá olvad össze.



11. ábra Minden méz vizsgálata a népesség száma szerint. Az 1. funkció 53%-ban, a 2. funkció 25%-ban, a 3. funkció 16%-ban és a 4. funkció 6%-ban magyarázza a teljes varianciát. 0,572-nek, 0,436-nak, 0,360-nak és 0,219-nek adódtak a kanonikus korreláció értékek. A kumulatív százalékok pedig: 53%, 78%, 95% és 100%.

A mézmintákat értékeltük aszerint is, hogy milyen az elemösszetételük, a beszerzési terület lakosságának függvényében. Az adatok alapján öt különböző csoportot határoztunk meg a népességszám alapján: <1000, 1000-5000, 5000-10 000, 10 000-35 000, valamint >100 000, az utóbbi a debreceni mézeket fedi le, egy darab miskolci mintát kivéve. Látható a 11. ábrán is, hogy semmilyen szeparációt sem tapasztaltunk, teljesen változatos a mézminták összetétele függetlenül attól, hogy mennyire lakott területről származnak. Egyik elemre sem láttunk szignifikáns különbséget sem a csoportok között varianciaanalízist végezve. Így megállapíthatjuk, hogy valószínűsíthetőleg nincs összefüggés a mézmintáink elemtartalma és a beszerzési terület lakossága között.



12. ábra Akácmézek elemösszetételének vizsgálata a beszerzési terület lakossága szerint. A teljes varianciát az 1. funkció 56%-ban, a 2. funkció 25%-ban, a 3. funkció 13%-ban valamint a 4. funkció 6%-ban magyarázza. A kanonikus korreláció értékek a következők: 0,712, 0,564, 0,439 és 0,307. A kumulatív százalékok pedig 56%, 81%, 94% és 100%.

Az elemzések során egy további összehasonlítást is elvégeztünk, amelynél a különböző települések népességének számát vettük alapul a minták elemösszetételének vizsgálatához, hasonlóan az előző ábrákhoz. Azonban ebben az esetben kizárólag az akácmézeket vizsgáltuk, kizárva a különböző mézfajtákból adódó esetleges zavarást, ezt a 12. ábra szemlélteti. Ennek az értékelésnek az eredményeként sem tapasztaltunk szeparációt a csoportok között, az akácmézek összetétele és a beszerzési terület népessége között nem mutatkozott jelentős kapcsolat. Ennél a csoportosításnál az egyutas varianciaanalízis eredményei azt mutatják, hogy egyedül a Ca esetében jelentkezik szignifikáns különbség ($p=0,003$) a csoportok között.

5 Összefoglalás

Az emberi tevékenységek olyan szennyezéseket okozhatnak, amelyek mennyisége és toxicitása jelentős károkat eredményezhet a környezetben. A gyűjtögető méhek hatalmas területet bejárva, a beporzási területen különböző anyagokkal kerülnek érintkezésbe. A mézelő méhek környezeti bioindikátorként való alkalmazhatósága abban rejlik, hogy a nektárral és virágpórral együtt képesek felhalmozni a környezetükben található elemeket, de különféle szerves szennyező anyagokat is.

Munkánk fő célkitűzése a Debrecen környékéről származó mézfajtákban a makro- és mikroelemek mennyiségének vizsgálata mellett a különböző technológiailag kritikus elemek (TCE) előfordulásának a tanulmányozása volt. Kutatásunk során arra voltunk kíváncsiak hogyan befolyásolja a mézekben az elemek előfordulását, valamint mennyiségét az egyre növekvő városiasodás és iparosodás.

Szaktervezési munkám során 97 mézmintát elemeztünk, amelyek legfőképpen Hajdú-Bihar megyéből, Debrecen és környékéről érkeztek a laborunkba. Ezen minták nagy részét akácmézek tették ki, melyek főleg a 2023-as évből származtak. 30 különböző elem (Ag, Al, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Ru, S, Sb, Sr, Ti, Y, Zn) mennyiségét vizsgáltuk ICP-OES technikával.

Elemzésünk során egyetlen TCE sem volt olyan mennyiségben a mintákban, amely a készülék meghatározási határa feletti koncentrációtartományba esett volna, valamint a toxikus elemek mennyiségére is ugyan ez volt igaz.

Az elemanalitikai eredményeken varianciaanalízist (ANOVA) és kanonikus diszkriminanciaanalízist (CDA) végeztünk, mely során azt állapítottuk meg, hogy a minták elemösszetétele nem mutat összefüggést a beszerzési terület lakosságának számával, nem látható semmilyen elem emelkedett koncentrációja vagy gyakorisága ennek függvényében. Megállapítottuk, hogy az elemkoncentrációk közötti különbségek a legtöbb esetben szignifikánsak voltak a botanikai eredet tekintve, ugyanis az akác-, a repce- és a napraforgómézek jól elkülönültek, csupán a vegyes virágmézek mutattak némi átfedést a csoportok között.

Egyértelműen kimondható, hogy a kálium minden mézmintában a legnagyobb koncentrációban volt jelen, amelyet a Ca, P, Mg, S és Na követett. A mézharmatmész kiemelkedő ásványianyag-tartalma volt még megfigyelhető, viszont fontos megemlíteni, hogy a mézharmatról levont következtetéseink tájékoztató jellegűek, mivel egyetlen egy minta állt csak rendelkezésünkre. A kutatásunk során kapott elemanalitikai eredmények többségében korrelálnak más tanulmányok által közölt adatokkal.

6 Summary

Human activities can cause pollutants whose quantity and toxicity can result in significant harm to the environment. Foraging bees, covering vast areas, come into contact with various substances in the pollination area. The applicability of honeybees as environmental bioindicators lies in their ability to accumulate metals present in their environment along with nectar and pollen, as well as various organic pollutants.

The main objective of our work was to investigate the quantities of macro- and microelements in honey varieties originating from the area of Debrecen, alongside studying the occurrence of various technologically critical elements (TCE). In our research, we were interested in how urbanization and industrialization affect the occurrence and quantity of elements in honey.

During my thesis work, we analyzed 97 honey samples, mainly from Hajdú-Bihar county, including Debrecen and its surroundings. The majority of these samples consisted of acacia honey, primarily from the year 2023. We examined the quantities of 30 different elements (Ag, Al, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Ru, S, Sb, Sr, Ti, Y, Zn) using ICP-OES technique.

During our analysis, none of the samples contained any TCE in quantities exceeding the detection limit of the device, and the same was true for the levels of toxic elements.

We conducted analysis of variance (ANOVA) and canonical discriminant analysis (CDA) on the elemental analytical results. As a result, we found that the elemental composition of the samples showed no correlation with the population size of the procurement area; there was no observed elevation in the concentration or frequency of any element based on this factor. We determined that the differences in elemental concentrations were significant in most cases among botanical origin. Specifically, acacia, rapeseed, and sunflower honeys were well-separated, with only mixed flower honeys showing some overlap between groups.

It can be clearly stated that potassium was present in the highest concentration in all honey samples, followed by Ca, P, Mg, S, and Na. Remarkable mineral content was also observed in honeydew honey; however, it is important to mention that our conclusions drawn from honeydew honey are indicative, as we only had access to one sample. The elemental analytical results obtained during our research largely correlate with data reported in other studies.

7 Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőimnek: Dr. Baranyai Edina és Dr. Sajtos Zsófi egyetemi adjunktusoknak, akik lehetőséget adtak kutatásom elvégzésére, a munkám során nyújtott segítségükért, értékes szakmai tanácsadásaikért és iránymutatásukért.

Szeretném megköszönni a Környezetanalitikai Kutatócsoport minden tagjának a segítséget és támogatást, melyet munkám során nyújtottak, továbbá az inspiráló és nyugodt légkört, amelyet a laborban biztosítottak.

Valamint szeretném még megköszönni azon méhészeknek, akik szakdolgozatom elkészüléséhez hozzájárultak, a mézminták biztosításával.

8 Irodalomjegyzék

- [1] H. Kerecsényi Edit: Néprajzi Közlemények 13. évfolyam, 3-4. szám „*A népi méhészkedés története, formái és gyakorlata Nagykanizsa környékén.*”, Budapest, 1969
- [2] „*A méhészet, méztermelés helyzete és lehetőségei, különös tekintettel Észak-Magyarország megyéire.*” Központi Statisztikai Hivatal, 2012
- [3] E. Goretti, M. Pallottini, R. Rossi, G. La Porta, T. Gardi, B.T. Cenci Goga, A.C. Elia, M. Galletti, B. Moroni, C. Petroselli, R. Selvaggi, D. Cappelletti: „*Heavy metal bioaccumulation in honey bee matrix, an indicator to assess the contamination level in terrestrial environments.*” *Environmental Pollution* **256**, 113388 (2020)
- [4] Morgan M. Cunningham, Lan Tran, Chloe G. McKee, Rodrigo Ortega Polo, Tara Newman, Lance Lansing, Jonathan S. Griffiths, Guillaume J. Bilodeau, Michael Rott, M. Marta Guarna: „*Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change.*” *Ecological Indicators* **134**, 108457 (2022)
- [5] Bettina Ziegelmann, Elisabeth Abele, Stefan Hannus, Michaela Beitzinger, Stefan Berg, Peter Rosenkranz: „*Lithium chloride effectively kills the honey bee parasite Varroa destructor by a systemic mode of action.*” *Scientific Reports* **8**, 683 (2018)
- [6] Žaneta Bargańska, Marek Ślebioda, Jacek Namieśnik: „*Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination.*” *Environmental Science and Technology* **46**, 235-248 (2016)
- [7] Tyler P Quigley, Gro V Amdam, Gyan H Harwood: „*Honey bees as bioindicators of changing global agricultural landscapes.*” *Insect Science* **35**, 132-137 (2019)
- [8] Magyar Élelmiszerkönyv: „*1-3-2001/110 számú előírás a mézről.*”
- [9] Nikolett Czipa, Dávid András, Béla Kovács: „*Determination of essential and toxic elements in Hungarian honeys.*” *Food Chemistry* **175**, 536-542 (2015)
- [10] Bíró Andrea: „*Tudnivalók a különböző mézfajtákról.*”, 2014
- [11] M. Almeida-Silva, N. Canha, C. Galinha, H.M. Dung, M.C. Freitas, T. Siteo: „*Trace elements in wild and orchard honeys.*” *Applied Radiation and Isotopes* **69**, 1592-1595 (2011)
- [12] Amtmann Mária: „*Különleges fajtamézek botanikai eredetének és illó komponenseinek összefüggése.*”, 2009 elérhetőség: https://phd.lib.uni-corvinus.hu/400/1/amtman_maria.pdf Megtekintve: 2024. 01. 29.

- [13] Clay Carter, Sharoni Shafir, Lia Yehonatan, Reid G. Palmer, Robert Thornburg: „*A novel role for proline in plant floral nectars.*” *Naturwissenschaften* **93**, 72–79 (2006)
- [14] Kaspérné Szél Zsuzsanna: „*A selyemkóróméz kémiai vizsgálata és összehasonlítása az akácmézzel.*”, Doktori értekezés 2006 elérhetőség: https://phd.lib.uni-corvinus.hu/471/1/de_3584.pdf Megtekintve: 2024. 02. 15.
- [15] Md. Solayman, Md. Asiful Islam, Sudip Pál, Yousuf Ali, Md. Ibrahim Khalil, Nadia Alam, Hua Gant: „*Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review.*” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **15**, 219–233 (2016)
- [16] Lengyelne Bodó Alexandra: „*Különböző botanikai és földrajzi eredetű hazai nektárforrások, vegyes- és fajtamézek komplex elemzése.*”, Ph.D értekezés, 2022 Elérhetőség: <https://pea.lib.pte.hu/bitstream/handle/pea/34476/bodo-alexandra-phd-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Megtekintve: 2024. 02. 17.
- [17] Saeed Samarghandian, Tahereh Farkhondeh, Fariborz Samini: „*Honey and Health: A Review of Recent Clinical Research.*” *Pharmacognosy Research* **9**, 121–127 (2017)
- [18] Kate E. Smith, Dominique Weis, Catherine Chauvel, Sibyle Moulin: „*Honey Maps the Pb Fallout from the 2019 Fire at Notre-Dame Cathedral, Paris: A Geochemical Perspective.*” *Environmental Science & Technology Letters* **7**, 753–759 (2020)
- [19] Zsófi Sajtos, Petra Herman, Sándor Harangi, Edina Baranyai: „*Elemental analysis of Hungarian honey samples and bee products by MP-AES method.*” *Microchemical Journal* **149**, 103968 (2019)
- [20] Tamás Varga, Zsófi Sajtos, Zita Gajdos, A. J. Timothy Jull, Mihály Molnár, Edina Baranyai: „*Honey as an indicator of long-term environmental changes: MP-AES analysis coupled with ¹⁴C-based age determination of Hungarian honey samples.*” *Science of The Total Environment* **736**, 139686 (2020)
- [21] Zsófi Sajtos, Tamás Varga, Zita Gajdos, Petra Burik, Máté Csontos, Zsuzsa Lisztes-Szabó, A. J. Timothy Jull, Mihály Molnár, Edina Baranyai: „*Rape, sunflower and forest honeys for long-term environmental monitoring: Presence of indicator elements and non-photosynthetic carbon in old Hungarian samples.*” *Science of The Total Environment* **808**, 152044 (2022)
- [22] Nikolett Czipa, Loránd Alexa, Clive J. C. Phillips, Béla Kovács: „*Macro-element ratios provide improved identification of the botanical origin of mono-floral honeys.*” *European Food Research and Technology* **244**, 1439–1445 (2018)
- [23] Nikolett Czipa, Gerda Diósi, Clive Phillips, Béla Kovács: „*Examination of honeys and flowers as soil element indicators.*” *Environmental Monitoring and Assessment* **189**, 412 (2017)
- [24] Montserrat Filella, Ilia Rodushkin: „*A concise guide for the determination of less-studied technology-critical elements (Nb, Ta, Ga, In, Ge, Te) by inductively coupled plasma mass*

- spectrometry in environmental samples.*" Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy **141**, 80-84 (2018)
- [25] Duc Huy Dang, Montserrat Filella, Dario Omanović: „*Technology-Critical Elements: An Emerging and Vital Resource that Requires more In-depth Investigation.*” Archives of Environmental Contamination and Toxicology **81**, 517–520 (2021)
- [26] Philip Nuss, Gian Andrea Blengini: „*Towards better monitoring of technology critical elements in Europe: Coupling of natural and anthropogenic cycles.*” Science of The Total Environment **613–614**, 569-578 (2018)
- [27] M. Filella, J.C. Rodríguez-Murillo: „*Less-studied TCE: are their environmental concentrations increasing due to their use in new technologies?*” Chemosphere **182**, 605-616 (2017)
- [28] A. Cobelo-García, M. Filella, P. Croot, C. Frazzoli, G. Du Laing, N. Ospina-Alvarez, S. Rauch, P. Salaun, J. Schäfer, S. Zimmermann: „*COST action TD1407: network on technology-critical elements (NOTICE)—from environmental processes to human health threats.*” Environmental Science and Pollution Research **22**, 15188–15194 (2015)
- [29] Montserrat Filella, Ilia Rodushkin: „*A concise guide for the determination of less-studied technology-critical elements (Nb, Ta, Ga, In, Ge, Te) by inductively coupled plasma mass spectrometry in environmental samples.*” Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy **141**, 80-84 (2018)
- [30] Dr. Gáspár Attila: „*GFAAS-oktatási segédanyag*”
- [31] <https://www.ru.nl/science/gi/facilities-activities/elemental-analysis/icp-oes/>
Megtekintve: 2024. 03. 23.
- [32] <https://www.analytik-jena.com/products/chemical-analysis/elemental-analysis/icp-oes/>
Megtekintve: 2024. 03. 23.
- [33] <https://www.agilent.com/en/support/atomic-spectroscopy/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectroscopy-icp-oes/icp-oes-faq> Megtekintve: 2024. 03. 23.
- [34] Abdulaziz S. Alqarni, Ayman A. Owayss, Awad A. Mahmoud, Mohammed A. Hannan: „*Mineral content and physical properties of local and imported honeys in Saudi Arabia.*” Journal of Saudi Chemical Society **18**, 618-625 (2014)
- [35] Rut Fernández-Torres, Juan Luis Pérez-Bernal, Miguel Ángel Bello-López, Manuel Callejón-Mochón, Juan Carlos Jiménez-Sánchez, A. Guiraúm-Pérez: „*Mineral content and botanical origin of Spanish honeys.*” Talanta **65**, 686-691 (2005)
- [36] <https://www.kutlab.hu/urbanizacio-kornyezeti-hatasai/> Megtekintve: 2024. 04. 27.

9 Függelék

Függelék 1. táblázat A vizsgálatba vont mézminták felsorolása

| Sorszám | Méz fajtája | Méz évjárata | Méz származási helye | Megye |
|---------|-------------|--------------|----------------------|------------------------|
| 1 | Mézharmat | 2023 | Kaba | Hajdú-Bihar |
| 2 | Akác | 2023 | Monostorpályi | Hajdú-Bihar |
| 3 | Napraforgó | 2023 | Bojt | Hajdú-Bihar |
| 4 | Napraforgó | 2023 | Vámospércs | Hajdú-Bihar |
| 5 | Akác | 2023 | Mátészalka | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 6 | Akác | 2023 | Nyírábrány | Hajdú-Bihar |
| 7 | Napraforgó | 2023 | Körösszegapáti | Hajdú-Bihar |
| 8 | Napraforgó | 2023 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 9 | Akác | 2023 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 10 | Akác | 2023 | Monostorpályi | Hajdú-Bihar |
| 11 | Napraforgó | 2023 | Berettyóújfalú | Hajdú-Bihar |
| 12 | Akác | 2023 | Gödöllő | Pest |
| 13 | Akác | 2023 | Hajdúhadház | Hajdú-Bihar |
| 14 | Napraforgó | 2023 | Kaba | Hajdú-Bihar |
| 15 | Napraforgó | 2023 | Körösújfalú | Békés |
| 16 | Akác | 2023 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 17 | Napraforgó | 2023 | Bojt | Hajdú-Bihar |
| 18 | Repce | 2023 | Bojt | Hajdú-Bihar |
| 19 | Akác | 2023 | Bugyi | Pest |
| 20 | Akác | 2023 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 21 | Repce | 2023 | Pocsaj | Hajdú-Bihar |
| 22 | Napraforgó | 2023 | Pocsaj | Hajdú-Bihar |
| 23 | Akác | 2023 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 24 | Napraforgó | 2023 | Derecske | Hajdú-Bihar |
| 25 | Repce | 2023 | Derecske | Hajdú-Bihar |
| 26 | Akác | 2023 | Monostorpályi | Hajdú-Bihar |
| 27 | Hárs | 2023 | Zselic | Somogy |

| Sorszám | Méz fajtája | Méz évjárata | Méz származási helye | Megye |
|---------|-------------|--------------|----------------------|------------------------|
| 28 | Napraforgó | 2023 | Biharnagybajom | Hajdú-Bihar |
| 29 | Napraforgó | 2023 | Gerendás | Békés |
| 30A | Akác | 2023 | Hajdúbagos | Hajdú-Bihar |
| 30B | Akác | 2023 | Hajdúbagos | Hajdú-Bihar |
| 31 | Akác | 2023 | Monostorpályi | Hajdú-Bihar |
| 32 | Akác | 2023 | Vámospércs | Hajdú-Bihar |
| 33 | Akác | 2023 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 34 | Akác | 2022 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 35 | Akác | 2023 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 36 | Akác | 2023 | Vámospércs | Hajdú-Bihar |
| 37 | Repce | 2023 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 38 | Repce | 2023 | Vámospércs | Hajdú-Bihar |
| 39 | Akác | 2023 | Hajdúsámson | Hajdú-Bihar |
| 40 | Repce | 2023 | Berettyóújfalú | Hajdú-Bihar |
| 41 | Napraforgó | 2022 | Hajdúnánás | Hajdú-Bihar |
| 42 | Akác | 2023 | Nyíradony | Hajdú-Bihar |
| 43 | Akác | 2023 | Komoró | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 44 | Vegyes | 2023 | Berettyóújfalú | Hajdú-Bihar |
| 45 | Napraforgó | 2023 | Csökmő | Hajdú-Bihar |
| 46 | Akác | 2023 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 47 | Napraforgó | 2023 | Berettyóújfalú | Hajdú-Bihar |
| 48 | Akác | 2023 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 49 | Napraforgó | 2023 | Bihardancsháza | Hajdú-Bihar |
| 50 | Akác | 2023 | Hajdúbagos | Hajdú-Bihar |
| 51 | Napraforgó | 2023 | Bojt | Hajdú-Bihar |
| 52 | Napraforgó | 2023 | Magyarhomorog | Hajdú-Bihar |
| 53 | Akác | 2023 | Magyarhomorog | Hajdú-Bihar |
| 54 | Akác | 2022 | Nyíradony | Hajdú-Bihar |
| 55 | Vegyes | 2022 | Szentpéterszeg | Hajdú-Bihar |

| Sorszám | Méz fajtája | Méz évjárata | Méz származási helye | Megye |
|---------|-------------|--------------|----------------------|------------------------|
| 56 | Vegyes | 2022 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 57 | Akác | 2023 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 58 | Akác | 2022 | Létavértes | Hajdú-Bihar |
| 59 | Napraforgó | 2023 | Váncsod | Hajdú-Bihar |
| 60 | Repce | 2022 | Böcs | Borsod-Abaúj-Zemplén |
| 61 | Akác | 2022 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 62 | Vegyes | 2022 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 63 | Napraforgó | 2022 | Görbeháza | Hajdú-Bihar |
| 64 | Akác | 2023 | Geszteréd | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 65 | Vegyes | 2023 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 66 | Napraforgó | 2023 | Geszteréd | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 67 | Akác | 2023 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 68 | Vegyes | 2023 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 69 | Vegyes | 2023 | Pocsaj | Hajdú-Bihar |
| 70 | Akác | 2023 | Szirma | Borsod-Abaúj-Zemplén |
| 71 | Akác | 2023 | Miskolc | Borsod-Abaúj-Zemplén |
| 72 | Akác | 2023 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 73 | Akác | 2023 | Hajdúsámson | Hajdú-Bihar |
| 74 | Akác | 2023 | Polgár | Hajdú-Bihar |
| 75 | Akác | 2023 | Polgár | Hajdú-Bihar |
| 76 | Akác | 2023 | Tiszagyulaháza | Hajdú-Bihar |
| 77 | Akác | 2023 | Nyírkércs | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 78 | Akác | 2023 | Nyíracsad | Hajdú-Bihar |
| 79 | Akác | 2023 | Nyíracsad | Hajdú-Bihar |
| 80 | Akác | 2023 | Nyírábrány | Hajdú-Bihar |
| 81 | Akác | 2023 | Fülesd | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 82 | Akác | 2023 | Mátészalka | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 83 | Akác | 2023 | Mérk | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 84 | Akác | 2023 | Tiszacsege | Hajdú-Bihar |

| Sorszám | Méz fajtája | Méz évjáráta | Méz származási helye | Megye |
|----------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|
| 85 | Repce | 2023 | Mezőcsát | Borsod-Abaúj-Zemplén |
| 86 | Repce | 2023 | Igrici | Borsod-Abaúj-Zemplén |
| 87 | Vegyes | 2023 | Tiszacsege | Hajdú-Bihar |
| 88 | Vegyes | 2023 | Tiszafüred | Jász-Nagykun-Szolnok |
| 89 | Vegyes | 2023 | Folyás | Hajdú-Bihar |
| 90 | Vegyes | 2023 | Tiszanagyfalu | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 91 | Vegyes | 2023 | Debrecen | Hajdú-Bihar |
| 92 | Vegyes | 2023 | Újtikos | Hajdú-Bihar |
| 93 | Vegyes | 2023 | Tiszadob | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 94 | Vegyes | 2023 | Mérk | Szabolcs-Szatmár-Bereg |
| 95 | Vegyes | 2023 | Igrici | Borsod-Abaúj-Zemplén |
| 96 | Vegyes | 2023 | Hejőpapi | Borsod-Abaúj-Zemplén |

Függelék 2. táblázat ICP-OES primer mérési eredmények

| Sor-szám | Al mg/kg | B mg/kg | Ba mg/kg | Ca mg/kg | Cu mg/kg | Fe mg/kg | K mg/kg | Mg mg/kg | Mn mg/kg | Na mg/kg | P mg/kg | S mg/kg | Sr mg/kg | Zn mg/kg |
|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 1 | 0,71 | 10,4 | 0,04 | 306 | 2,81 | 4,31 | 2817 | 274 | 0,94 | 52,2 | 897 | 188 | 1,18 | 10,6 |
| 2 | <LoQ | 4,79 | <LoQ | 8,43 | 0,19 | 2,34 | 216 | 6,83 | 0,08 | 4,67 | 56,3 | 15,5 | 0,03 | 2,12 |
| 3 | 0,02 | 11,3 | 0,01 | 108 | 0,22 | 0,85 | 490 | 31,7 | 0,13 | 4,70 | 62,8 | 26,6 | 0,09 | 1,06 |
| 4 | 0,18 | 9,68 | 0,01 | 146 | 0,42 | 0,88 | 644 | 53,6 | 0,26 | 11,8 | 142 | 40,1 | 0,24 | 2,27 |
| 5 | 0,07 | 4,12 | 0,01 | 9,71 | 0,07 | 0,35 | 197 | 6,55 | 0,07 | 8,74 | 46,4 | 15,1 | 0,03 | 2,28 |
| 6 | 0,02 | 4,44 | <LoQ | 2,90 | 0,05 | 0,02 | 169 | 3,58 | 0,05 | 4,89 | 40,6 | 10,6 | 0,03 | 7,99 |
| 7 | 0,14 | 10,2 | 0,07 | 122 | 0,28 | 0,43 | 409 | 31,4 | 0,17 | 10,0 | 57,6 | 24,5 | 0,15 | 1,85 |
| 8 | 0,21 | 10,3 | 0,01 | 97,8 | 0,21 | 0,52 | 365 | 28,8 | 0,16 | 9,29 | 57,7 | 27,7 | 0,11 | 2,02 |
| 9 | 0,02 | 4,67 | 0,01 | 11,6 | 0,08 | 0,28 | 203 | 6,56 | 0,08 | 4,76 | 45,9 | 12,9 | 0,03 | 1,45 |
| 10 | <LoQ | 4,85 | 0,07 | 10,5 | 0,08 | 0,37 | 171 | 5,57 | 0,11 | 5,42 | 43,6 | 11,9 | 0,03 | 1,92 |
| 11 | 0,28 | 10,0 | 0,01 | 114 | 0,17 | 0,87 | 305 | 28,9 | 0,14 | 7,91 | 44,4 | 19,9 | 0,12 | 1,86 |
| 12 | <LoQ | 5,35 | <LoQ | 7,08 | 0,08 | <LoQ | 166 | 5,42 | 0,08 | 4,79 | 38,6 | 12,4 | 0,03 | 1,96 |
| 13 | 0,02 | 4,07 | <LoQ | 1,67 | 0,05 | <LoQ | 148 | 2,72 | 0,05 | 2,81 | 37,6 | 8,79 | 0,00 | 0,83 |
| 14 | 0,02 | 9,58 | 0,10 | 120 | 0,22 | <LoQ | 265 | 23,0 | 0,14 | 15,6 | 38,8 | 18,8 | 0,12 | 1,72 |
| 15 | 0,11 | 8,56 | 0,01 | 111 | 0,19 | 0,31 | 349 | 23,0 | 0,14 | 10,9 | 56,7 | 18,1 | 0,15 | 0,88 |
| 16 | 0,11 | 4,33 | <LoQ | 6,44 | 0,08 | 0,11 | 188 | 5,73 | 0,08 | 3,86 | 45,8 | 12,1 | 0,03 | 1,04 |

| Sor-szám | Al mg/kg | B mg/kg | Ba mg/kg | Ca mg/kg | Cu mg/kg | Fe mg/kg | K mg/kg | Mg mg/kg | Mn mg/kg | Na mg/kg | P mg/kg | S mg/kg | Sr mg/kg | Zn mg/kg |
|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 17 | 0,32 | 11,3 | 0,01 | 114 | 0,17 | 0,14 | 446 | 31,9 | 0,14 | 4,77 | 56,6 | 22,6 | 0,12 | 1,61 |
| 18 | 0,02 | 14,1 | <LoQ | 46,9 | 0,08 | 0,60 | 250 | 20,5 | 0,22 | 12,6 | 51,9 | 20,2 | 0,09 | 1,37 |
| 19 | 0,02 | 4,40 | <LoQ | 9,46 | 0,08 | 0,23 | 196 | 7,32 | 0,11 | 9,42 | 36,1 | 13,5 | 0,03 | 0,84 |
| 20 | 2,67 | 4,77 | 3,23 | 6,49 | 0,08 | 0,54 | 177 | 4,90 | 0,08 | 5,35 | 40,9 | 15,0 | 0,09 | 3,57 |
| 21 | 0,52 | 15,0 | 0,13 | 58,0 | 0,11 | 0,75 | 186 | 20,0 | 0,28 | 10,3 | 48,8 | 21,5 | 0,15 | 0,85 |
| 22 | 0,37 | 10,2 | 0,01 | 115 | 0,19 | 0,60 | 493 | 30,6 | 0,19 | 9,83 | 71,8 | 27,1 | 0,09 | 3,98 |
| 23 | <LoQ | 4,53 | 0,16 | 4,55 | 0,08 | <LoQ | 159 | 4,22 | 0,08 | 5,43 | 44,4 | 11,0 | 0,03 | 0,86 |
| 24 | 0,17 | 10,5 | 0,04 | 111 | 0,17 | 0,17 | 311 | 22,1 | 0,14 | 8,10 | 49,5 | 20,0 | 0,09 | 3,88 |
| 25 | 0,05 | 16,1 | 0,01 | 46,1 | 0,11 | 0,22 | 116 | 18,9 | 0,22 | 9,88 | 41,0 | 23,7 | 0,06 | 0,73 |
| 26 | 0,42 | 4,12 | 0,04 | 11,5 | 0,08 | <LoQ | 147 | 5,69 | 0,16 | 3,59 | 45,3 | 8,72 | 0,03 | 1,43 |
| 27 | 0,19 | 5,65 | 0,04 | 111 | 0,57 | 0,54 | 1228 | 25,5 | 0,83 | 10,4 | 112 | 24,9 | 0,14 | 1,59 |
| 28 | 0,05 | 9,55 | 0,01 | 71,0 | 0,19 | 0,14 | 254 | 17,0 | 0,11 | 9,03 | 48,7 | 20,5 | 0,09 | 0,85 |
| 29 | 0,68 | 9,57 | 0,01 | 113 | 0,19 | 0,79 | 420 | 29,7 | 0,13 | 9,34 | 57,3 | 27,5 | 0,09 | 0,90 |
| 30A | 0,17 | 4,83 | <LoQ | 10,1 | 0,11 | 0,08 | 208 | 7,46 | 0,11 | 10,6 | 53,9 | 15,6 | 0,03 | 0,39 |
| 30B | 0,05 | 6,43 | <LoQ | 20,2 | 0,11 | 0,52 | 228 | 9,80 | 0,11 | 7,58 | 51,6 | 16,5 | 0,03 | 2,16 |
| 31 | 0,05 | 5,69 | 0,04 | 15,0 | 0,11 | 0,49 | 224 | 8,77 | 0,11 | 6,40 | 52,6 | 13,2 | 0,03 | 1,43 |
| 32 | <LoQ | 4,06 | <LoQ | 3,53 | 0,08 | 0,02 | 164 | 4,22 | 0,08 | 3,52 | 43,7 | 11,6 | 0,03 | 1,56 |

| Sor-szám | Al mg/kg | B mg/kg | Ba mg/kg | Ca mg/kg | Cu mg/kg | Fe mg/kg | K mg/kg | Mg mg/kg | Mn mg/kg | Na mg/kg | P mg/kg | S mg/kg | Sr mg/kg | Zn mg/kg |
|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 33 | 0,16 | 5,28 | 0,01 | 14,2 | 0,10 | 0,47 | 189 | 7,80 | 0,10 | 8,02 | 47,2 | 14,9 | 0,06 | 1,07 |
| 34 | 0,08 | 4,51 | 0,35 | 13,8 | 0,08 | <LoQ | 169 | 6,99 | 0,13 | 7,50 | 44,4 | 12,7 | 0,06 | 0,58 |
| 35 | 0,02 | 5,34 | <LoQ | 14,3 | 0,08 | 0,34 | 196 | 8,77 | 0,11 | 7,34 | 50,2 | 14,9 | 0,03 | 1,48 |
| 36 | <LoQ | 4,49 | <LoQ | 9,37 | 0,08 | <LoQ | 141 | 4,82 | 0,13 | 2,83 | 30,9 | 9,27 | 0,03 | 0,32 |
| 37 | <LoQ | 9,86 | <LoQ | 26,1 | 0,08 | <LoQ | 130 | 10,8 | 0,19 | 7,00 | 32,7 | 13,0 | 0,06 | 2,53 |
| 38 | <LoQ | 16,4 | 0,04 | 66,5 | 0,17 | 0,40 | 306 | 33,5 | 0,29 | 19,6 | 84,0 | 40,6 | 0,12 | 1,48 |
| 39 | <LoQ | 4,08 | <LoQ | 5,52 | 0,08 | <LoQ | 162 | 4,86 | 0,05 | 3,88 | 45,5 | 11,0 | 0,03 | 1,01 |
| 40 | 0,22 | 12,6 | 0,07 | 68,5 | 0,16 | 0,71 | 336 | 24,4 | 0,25 | 17,8 | 67,7 | 25,0 | 0,09 | 2,19 |
| 41 | 0,13 | 8,75 | <LoQ | 101 | 0,22 | 0,16 | 536 | 30,1 | 0,16 | 7,29 | 62,6 | 24,0 | 0,08 | 0,88 |
| 42 | <LoQ | 4,03 | <LoQ | 3,81 | 0,08 | <LoQ | 161 | 3,57 | 0,08 | 4,50 | 38,9 | 8,08 | 0,03 | 0,27 |
| 43 | <LoQ | 4,36 | 0,07 | 4,66 | 0,08 | <LoQ | 149 | 3,38 | 0,05 | 4,09 | 37,7 | 9,63 | 0,03 | 0,29 |
| 44 | <LoQ | 9,43 | 0,01 | 36,1 | 0,11 | 0,08 | 287 | 16,3 | 0,14 | 12,9 | 63,3 | 20,5 | 0,09 | 0,65 |
| 45 | 0,11 | 9,24 | 0,01 | 94,6 | 0,17 | <LoQ | 225 | 20,6 | 0,11 | 7,44 | 40,6 | 18,4 | 0,12 | 0,50 |
| 46 | 0,43 | 5,08 | 0,01 | 8,19 | 0,08 | 0,28 | 175 | 6,03 | 0,11 | 6,40 | 42,7 | 12,7 | 0,03 | 2,46 |
| 47 | 0,08 | 9,18 | 0,01 | 101 | 0,17 | 0,11 | 331 | 25,9 | 0,11 | 8,35 | 46,5 | 19,9 | 0,12 | 1,50 |
| 48 | <LoQ | 4,54 | 0,01 | 14,3 | 0,11 | 0,22 | 308 | 11,0 | 0,13 | 7,48 | 85,4 | 13,1 | 0,06 | 0,29 |
| 49 | 0,28 | 8,33 | <LoQ | 50,8 | 0,14 | 0,11 | 187 | 12,7 | 0,05 | 5,03 | 33,9 | 15,3 | 0,06 | 0,56 |

| Sor-szám | Al mg/kg | B mg/kg | Ba mg/kg | Ca mg/kg | Cu mg/kg | Fe mg/kg | K mg/kg | Mg mg/kg | Mn mg/kg | Na mg/kg | P mg/kg | S mg/kg | Sr mg/kg | Zn mg/kg |
|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 50 | 0,19 | 4,19 | 0,01 | 9,50 | 0,08 | 0,16 | 143 | 5,40 | 0,11 | 2,90 | 38,2 | 8,25 | 0,03 | 0,49 |
| 51 | 0,20 | 10,6 | 0,01 | 103 | 0,23 | 1,57 | 417 | 29,2 | 0,14 | 3,62 | 59,1 | 24,8 | 0,09 | 0,60 |
| 52 | <LoQ | 9,54 | 0,01 | 110 | 0,26 | 0,62 | 351 | 26,8 | 0,11 | 10,3 | 56,9 | 20,9 | 0,12 | 2,20 |
| 53 | 0,14 | 6,61 | <LoQ | 26,8 | 0,17 | 1,40 | 326 | 15,1 | 0,11 | 12,4 | 75,3 | 24,3 | 0,06 | 6,92 |
| 54 | <LoQ | 5,32 | <LoQ | 14,4 | 0,08 | <LoQ | 200 | 7,30 | 0,11 | 5,32 | 47,4 | 13,2 | 0,03 | 0,24 |
| 55 | 0,34 | 9,32 | 0,01 | 110 | 0,17 | 0,58 | 437 | 29,7 | 0,17 | 11,1 | 59,5 | 24,2 | 0,09 | 1,24 |
| 56 | 0,34 | 9,49 | 0,04 | 132 | 0,58 | 1,95 | 1263 | 72,9 | 0,43 | 14,6 | 231 | 57,2 | 0,23 | 2,35 |
| 57 | 0,02 | 5,65 | <LoQ | 13,5 | 0,30 | 0,24 | 203 | 7,90 | 0,11 | 5,16 | 50,9 | 15,3 | 0,03 | 1,42 |
| 58 | 0,20 | 4,04 | 0,01 | 9,23 | 0,08 | 0,55 | 148 | 5,15 | 0,14 | 3,52 | 42,5 | 9,21 | 0,03 | 0,68 |
| 59 | 0,02 | 10,3 | 0,01 | 110 | 0,20 | 0,17 | 289 | 27,3 | 0,11 | 5,61 | 45,4 | 20,3 | 0,12 | 0,94 |
| 60 | 0,20 | 13,2 | <LoQ | 36,8 | 0,11 | 0,31 | 118 | 14,0 | 0,17 | 6,09 | 32,9 | 17,0 | 0,06 | 0,71 |
| 61 | 1,55 | 5,43 | <LoQ | 10,8 | 0,08 | <LoQ | 143 | 5,90 | 0,10 | 3,50 | 40,3 | 9,92 | 0,03 | 0,29 |
| 62 | 0,05 | 7,36 | 0,01 | 88,6 | 0,20 | 0,56 | 534 | 26,0 | 0,17 | 9,96 | 67,2 | 26,1 | 0,12 | 1,56 |
| 63 | 0,16 | 10,1 | 0,07 | 142 | 0,28 | 0,48 | 478 | 33,2 | 0,16 | 10,3 | 56,7 | 24,4 | 0,17 | 1,32 |
| 64 | 0,42 | 3,89 | 0,50 | 6,59 | 0,08 | 0,31 | 197 | 4,68 | 0,08 | 5,66 | 47,0 | 12,1 | 0,03 | 0,50 |
| 65 | 0,64 | 4,81 | 0,04 | 44,3 | 0,14 | 0,96 | 602 | 11,8 | 0,14 | 10,7 | 61,4 | 20,2 | 0,12 | 1,53 |
| 66 | 0,17 | 9,33 | 0,01 | 107 | 0,14 | 0,59 | 336 | 27,5 | 0,17 | 4,57 | 48,3 | 25,4 | 0,18 | 2,03 |

| Sor-szám | Al mg/kg | B mg/kg | Ba mg/kg | Ca mg/kg | Cu mg/kg | Fe mg/kg | K mg/kg | Mg mg/kg | Mn mg/kg | Na mg/kg | P mg/kg | S mg/kg | Sr mg/kg | Zn mg/kg |
|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 67 | <LoQ | 4,87 | 0,01 | 17,0 | 0,08 | 0,08 | 168 | 5,37 | 0,11 | 3,10 | 41,5 | 11,1 | 0,03 | 0,64 |
| 68 | 0,37 | 7,61 | 0,01 | 59,1 | 0,16 | 0,37 | 458 | 15,8 | 0,16 | 8,51 | 61,5 | 23,1 | 0,09 | 1,60 |
| 69 | 0,34 | 7,12 | 0,16 | 65,0 | 0,17 | 0,23 | 413 | 15,4 | 0,14 | 7,60 | 60,5 | 21,6 | 0,09 | 1,36 |
| 70 | 0,05 | 4,22 | 0,01 | 7,29 | 0,08 | 0,29 | 164 | 3,45 | 0,08 | 4,02 | 40,3 | 11,6 | 0,03 | 0,12 |
| 71 | 0,16 | 4,74 | 0,01 | 11,7 | 0,11 | 0,71 | 211 | 5,67 | 0,13 | 4,97 | 53,7 | 14,3 | 0,03 | 0,21 |
| 72 | 0,14 | 4,92 | <LoQ | 10,5 | 0,08 | 0,20 | 179 | 5,01 | 0,08 | 4,86 | 42,7 | 13,2 | 0,03 | 0,21 |
| 73 | 0,48 | 4,72 | 0,04 | 10,4 | 0,08 | 0,22 | 214 | 5,71 | 0,11 | 5,13 | 53,0 | 14,5 | 0,03 | 0,12 |
| 74 | 0,05 | 4,12 | <LoQ | 6,56 | 0,05 | 0,32 | 164 | 3,36 | 0,08 | 5,23 | 39,4 | 10,3 | 0,03 | 0,27 |
| 75 | <LoQ | 4,77 | 0,01 | 15,9 | 0,08 | 0,34 | 222 | 6,68 | 0,11 | 5,96 | 49,0 | 14,6 | 0,03 | 0,21 |
| 76 | <LoQ | 4,76 | 0,01 | 16,1 | 0,08 | 0,19 | 221 | 6,44 | 0,11 | 5,31 | 49,3 | 14,9 | 0,03 | 0,18 |
| 77 | 0,34 | 4,82 | 0,01 | 19,1 | 0,08 | 1,15 | 222 | 6,95 | 0,14 | 5,00 | 50,3 | 15,0 | 0,03 | 0,27 |
| 78 | <LoQ | 5,18 | <LoQ | 11,3 | 0,11 | 0,23 | 179 | 5,19 | 0,08 | 4,71 | 42,3 | 13,5 | 0,03 | 0,57 |
| 79 | <LoQ | 3,97 | 0,01 | 11,5 | 0,14 | 0,23 | 279 | 5,70 | 0,17 | 4,04 | 37,5 | 19,0 | 0,03 | 0,39 |
| 80 | 0,25 | 5,34 | 0,04 | 25,6 | 0,08 | 0,60 | 241 | 9,05 | 0,14 | 4,99 | 55,4 | 12,6 | 0,06 | 0,24 |
| 81 | 0,34 | 5,01 | 0,01 | 16,4 | 0,08 | 0,63 | 187 | 7,45 | 0,16 | 3,25 | 42,4 | 10,6 | 0,03 | 0,06 |
| 82 | <LoQ | 5,12 | <LoQ | 11,3 | 0,08 | 0,29 | 178 | 5,42 | 0,08 | 4,30 | 42,7 | 13,9 | 0,03 | 0,21 |
| 83 | <LoQ | 5,14 | 0,01 | 16,7 | 0,08 | 2,46 | 188 | 7,59 | 0,16 | 3,29 | 43,3 | 11,1 | 0,03 | 0,03 |

| Sor-szám | Al mg/kg | B mg/kg | Ba mg/kg | Ca mg/kg | Cu mg/kg | Fe mg/kg | K mg/kg | Mg mg/kg | Mn mg/kg | Na mg/kg | P mg/kg | S mg/kg | Sr mg/kg | Zn mg/kg |
|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 84 | <LoQ | 4,58 | <LoQ | 17,3 | 0,08 | 0,84 | 208 | 6,28 | 0,11 | 5,81 | 52,9 | 20,7 | 0,03 | 0,38 |
| 85 | 0,22 | 14,1 | 0,01 | 73,6 | 0,11 | 0,78 | 302 | 22,0 | 0,22 | 11,2 | 54,5 | 26,8 | 0,09 | 0,33 |
| 86 | 0,02 | 13,9 | 0,01 | 48,1 | 0,08 | 0,43 | 212 | 18,3 | 0,22 | 11,1 | 45,7 | 23,0 | 0,06 | 0,38 |
| 87 | 0,60 | 8,07 | 0,04 | 71,1 | 0,17 | 1,33 | 264 | 17,6 | 0,17 | 11,2 | 55,9 | 24,6 | 0,12 | 0,55 |
| 88 | 0,53 | 9,25 | 0,04 | 124 | 0,23 | 1,30 | 483 | 33,0 | 0,20 | 14,3 | 59,2 | 25,5 | 0,12 | 0,93 |
| 89 | 0,02 | 8,25 | 0,04 | 72,1 | 0,17 | 0,57 | 268 | 18,1 | 0,17 | 11,1 | 56,7 | 24,1 | 0,12 | 0,68 |
| 90 | <LoQ | 9,45 | 0,07 | 113 | 0,23 | 4,11 | 305 | 27,0 | 0,26 | 13,7 | 57,9 | 25,3 | 0,12 | 1,19 |
| 91 | 0,02 | 9,09 | 0,13 | 96,1 | 0,32 | 0,91 | 407 | 25,5 | 0,17 | 19,6 | 65,9 | 36,0 | 0,15 | 2,31 |
| 92 | 0,05 | 12,3 | 0,04 | 85,0 | 0,14 | 0,59 | 428 | 27,3 | 0,38 | 12,1 | 73,9 | 34,6 | 0,12 | 0,54 |
| 93 | 0,11 | 10,1 | 0,04 | 137 | 0,23 | 0,83 | 530 | 35,8 | 0,20 | 15,5 | 63,1 | 27,4 | 0,12 | 0,93 |
| 94 | <LoQ | 9,86 | 0,16 | 134 | 0,26 | 0,56 | 515 | 34,7 | 0,20 | 17,9 | 62,6 | 26,5 | 0,12 | 0,99 |
| 95 | <LoQ | 8,14 | 0,01 | 71,4 | 0,17 | 0,32 | 267 | 17,8 | 0,17 | 11,2 | 56,3 | 23,5 | 0,09 | 0,46 |
| 96 | 0,23 | 9,85 | 1,13 | 98,3 | 0,31 | 0,73 | 398 | 25,8 | 0,17 | 20,2 | 64,1 | 34,7 | 0,15 | 2,65 |

*<LoQ: a készülék meghatározási határa alatti koncentráció

A következő elemeket nem, vagy a készülék meghatározási határa alatti koncentrációtartományban detektáltuk: Ag, Au, Bi, Cd, Co, Cr, Li, Ni, Pb, Pd, Pt, Rb, Ru, Sb, Ti, Y.